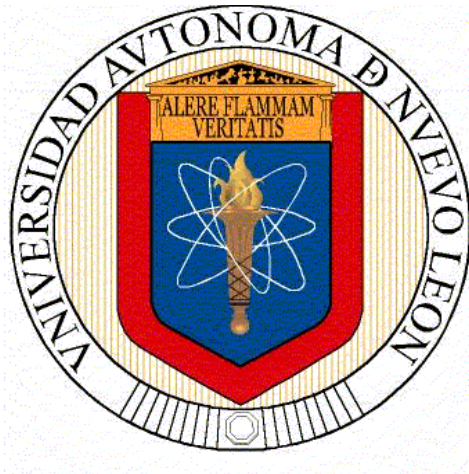


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**



TESIS

**PROCESOS DE RECUPERACIÓN DE LA VEGETACIÓN Y SUELO
EN ÁREAS INCENDIADAS DE LA SIERRA MADRE ORIENTAL**

PRESENTA

ING. JOSÉ ISRAEL LÓPEZ MARTÍNEZ

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES**

LINARES, NUEVO LEÓN,

NOVIEMBRE, 2015

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO**

**PROCESOS DE RECUPERACIÓN DE LA VEGETACIÓN Y
SUELO EN ÁREAS INCENDIADAS DE LA SIERRA MADRE
ORIENTAL**

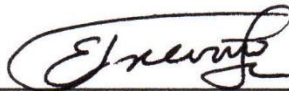
TESIS DE MAESTRÍA

Para obtener el grado de
MAESTRÍA EN CIENCIAS FORESTALES

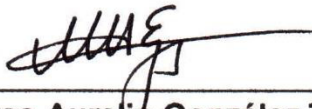
Por:

Ing. José Israel López Martínez

COMITÉ DE TESIS



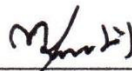
Dr. Eduardo Javier Treviño Garza
Director



Dr. Marco Aurelio González Tagle
Asesor



Dr. Oscar Alberto Aguirre Calderón
Asesor



M.C. María Inés Yáñez Díaz
Asesor externo

Declaro que la presente investigación es original y se desarrolló para obtener el título de Maestría en Ciencias Forestales. Donde se utilizó información de otros autores, se otorgan los créditos correspondientes.

A handwritten signature in dark ink, consisting of a circle with a diagonal line through it and some scribbles below, positioned above a horizontal line.

Ing. José Israel López Martínez

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Facultad de Ciencias Forestales de la UANL, por haberme abierto sus puertas para el desarrollo y culminación de mis estudios de posgrado.

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo económico brindado para la realización y culminación de mis estudios de posgrado.

Agradezco al Dr. Eduardo Javier Treviño Garza, por haberme permitido formar parte de su equipo de trabajo, por sus consejos y motivación para mejorar mi formación científica y por la asesoría brinda para el desarrollo y culminación del presente trabajo de investigación.

Agradezco al Dr. Oscar Alberto Aguirre Calderón por su acompañamiento al proceso científico, sus sugerencias y demás aportaciones para el desarrollo y conclusión del presente trabajo de investigación.

Agradezco al Dr. Marco Aurelio González Tagle, por el acompañamiento al proceso científico, por sus opiniones y sugerencias realizadas principalmente en las cuestiones estadísticas para el enriquecimiento de la presente investigación.

Agradezco a la M. C. María Inés Yáñez Díaz por su asesoría y apoyo brindado principalmente para el desarrollo del trabajo de laboratorio e interpretación de los análisis físicos y químicos del suelo, los cuales forman parte fundamental de la presente investigación.

Agradezco al Dr. Israel Cantú Silva por haberme permitido hacer uso de las instalaciones, material y equipo del laboratorio de suelos a su cargo.

Agradezco a las autoridades del Ejido La Siberia, Mpio. de General Zaragoza, N. L. por el permiso y facilidades brindadas para la realización del trabajo de campo dentro de sus terrenos ejidales.

Agradezco a las personas que me brindaron su apoyo para realizar el trabajo de campo, especialmente a Humberto Alonso López Alejandro, Enrique Buendía Rodríguez, Juan Carlos Ramos Reyes y Alex Luna.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia, quienes han sido los pilares que siempre me han brindado la fortaleza para cumplir mis sueños, mis metas y mis deseos de salir adelante, en especial a mis señores padres el Sr. Ángel López Valle y la Sra. Sofía Martínez Juárez, y a mis hermanos Ángel, Dulce Roció, Leonel y Mauricio a quienes siempre llevo presentes en mi mete y en mi corazón.

ÍNDICE

ÍNDICE DE CUADROS.....	IV
ÍNDICE DE FIGURAS.....	V
RESUMEN.....	VI
ABSTRACT	VII
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
HIPÓTESIS	2
OBJETIVO GENERAL.....	2
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
CAPÍTULO I.....	5
1. Análisis de la recuperación de la vegetación y del suelo en áreas incendiadas	5
1.1. Resumen	5
1.2. Abstract.....	6
1.3. Introducción	7
1.4. Desarrollo del tema.....	8
1.4.1. Efectos de los incendios sobre los ecosistemas forestales.....	8
1.4.2. Efectos del fuego sobre la vegetación arbórea	9
1.4.3. Mortalidad de plantas	9
1.4.4. Mortalidad del área de copa.....	9
1.4.5. Resistencia de las plantas al fuego	10
1.4.6. Efectos del fuego sobre las propiedades físicas y químicas del suelo	10
1.4.7. Análisis de la recuperación de ecosistemas forestales impactados por el fuego	13
1.4.8. Caracterización de la vegetación de áreas impactadas por el fuego mediante el índice de valor de importancia (IVI)	13
1.4.9. Estudio de la recuperación de la vegetación mediante el análisis de la estructura florística considerando la diversidad biológica.....	15
1.4.10. Determinación de la riqueza de especies mediante el índice de Margalef	15

1.4.11. Determinación de la diversidad de especies mediante el índice de Shannon	16
1.4.12. Parámetros de la estructura horizontal a considerar para conocer la recuperación de la vegetación.....	17
1.4.13. Estudio de las propiedades físicas y químicas del suelo en áreas incendiadas	19
1.5. Conclusiones	23
CAPÍTULO II	24
2. Recuperación de la vegetación arbórea en un bosque de pino-encino impactado por el fuego	24
2.1. Resumen	24
2.2. Abstract.....	25
2.3. Introducción	25
2.4. Materiales y métodos.....	27
2.4.1. Área de estudio	27
2.4.2. Selección del área de estudio	28
2.4.3. Establecimiento de sitios de muestreo	29
2.4.4. Forma y tamaño de los sitios de muestreo.....	30
2.4.5. Distribución de los sitios de muestreo	30
2.4.6. Determinación del número de sitios de muestreo	31
2.4.7. Levantamiento de datos de vegetación.....	32
2.4.8. Caracterización de la vegetación	32
2.4.9. Análisis estadístico.....	35
2.5. Resultados y discusión	35
2.5.1. Caracterización de la vegetación arbórea	35
2.5.2. Resultado del análisis estadístico para las estructuras florística y horizontal.....	37
2.6. Conclusión	40
CAPÍTULO III	41
3. Proceso de recuperación del suelo en un bosque de pino-encino impactado por el fuego	41
3.1. Resumen	41

3.2. Abstract.....	42
3.3. Introducción	42
3.4. Materiales y metodos.....	44
3.4.1. Área de estudio	44
3.4.2. Selección del área de estudio	45
3.4.3. Establecimiento de sitios de muestreo	45
3.4.4. Forma y tamaño de los sitios de muestreo.....	46
3.4.5. Distribución de los sitios de muestreo	46
3.4.6. Determinación del número de sitios de muestreo	47
3.4.7. Colecta de muestras de suelo.....	48
3.4.8. Análisis físicos y químicos de suelo	49
3.4.9. Análisis estadístico de las variables	52
3.5. Resultados y discusión	52
3.6. Conclusión	56
CAPÍTULO IV.....	58
4.1. Conclusiones generales	58
4.2. Perspectivas	59
LITERATURA CITADA.....	60

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Ecuaciones para determinar el índice de valor de importancia (IVI).	14
Cuadro 2. Clasificaciones de pH del suelo propuestas por SEMARNAT (2002).	
.....	21
Cuadro 3. Clasificaciones de conductividad eléctrica según SEMARNAT (2002).	
.....	22
Cuadro 4. Clasificaciones de materia orgánica según SEMARNAT (2002).	22
Cuadro 5. Índice de valor de Importancia bajo dos condiciones.	36
Cuadro 6. Resultados estadísticos para las estructuras florística y horizontal..	38

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del área de estudio.....	27
Figura 2. Selección del área de estudio.....	29
Figura 3. Forma de las unidades de muestreo empleadas.	30
Figura 4. Distribución de sitios de muestreo.	31
Figura 5. Determinación del número de sitios de muestreo mediante el promedio corrido.....	32
Figura 6. Densidad de especies por categoría diamétrica en el área incendiada.	39
Figura 7. Densidad de especies por categoría diamétrica en el área No incendiada.....	40
Figura 8. Plano de ubicación del área de estudio.	44
Figura 9. Forma y tamaño de las unidades de muestreo establecidas.	46
Figura 10. Distribución de sitios de muestreo dentro del área de estudio.....	47
Figura 11. Comparación de medias para las variables: a) Arena; b) Arcilla c) Limo.	53
Figura 12. Comparación de medias para las variables: a) Potencial de hidrógeno (pH) y b) Conductividad eléctrica (CE).	54
Figura 13. Comparación de medias para las variables: a) Fósforo (P) y b) Materia orgánica (MO).	55

RESUMEN

El propósito de esta investigación fue conocer la recuperación de la vegetación y del suelo en áreas impactadas por el fuego. Para lo cual, se presenta un marco teórico de los efectos del fuego sobre la vegetación arbórea y el suelo, así como algunas metodologías para conocer su recuperación. Se realiza la aplicación de dichas metodologías para conocer la recuperación de la vegetación arbórea y del suelo en un bosque de pino-encino impactado por el fuego dentro de la Sierra Madre Oriental. Para la vegetación se realizó su caracterización, se estimó su riqueza y diversidad de especies, y se consideró el estudio de dos variables de su estructura florística (riqueza y diversidad de especies) y tres de su estructura horizontal (área basal, área de copa y densidad), además, para profundizar en los resultados de la estructura horizontal, se realizó la categorización diamétrica de las especies registradas. Para el estudio del suelo, se consideró el análisis de cinco variables físico-químicas (textura, pH, CE, MO y P). El análisis de la vegetación indica que la especie dominante en ambas condiciones es *Pinus pseudostrobus* Lindl., las variables de la estructura florística no presentan diferencias estadísticas ($p > 0.05$) asumiendo que han alcanzado sus condiciones originales, sin embargo dos variables de la estructura horizontal (áreas basal y de copa) aún son diferentes ($p < 0.05$). En lo referente al suelo, tres de las variables analizadas (textura, pH y CE) aún no alcanzan los valores que se presentaban previos al incendio, mostrando diferencias estadísticas ($p < 0.05$), sin embargo los valores obtenidos no representan problemas para el suelo, además de que dichos valores son característicos del ecosistema analizado. Concluyendo que la vegetación arbórea presenta una recuperación parcial, mientras que el suelo ha recuperado la totalidad de las propiedades físico-químicas analizadas.

ABSTRACT

The main proposal of this research was to know the vegetation and soil recovery over impacted areas by fire. A theoretical frame of the fire effect over the arboreal vegetation and soil is presented; as well as some methodologies to know its recovery. To know the recovery of the arboreal vegetation and soil in the pine – oak forest impacted by the fires at the Sierra Madre Oriental were applied some methodologies. To obtain results for the vegetation it was characterized, calculating two variables of its floristic structure (richness and species diversity) and for its horizontal structure were basal area, crown area and density, also to depth into the result of the horizontal structure was included the diametric categorization of the recorded specie. In the soil studies were considerate as physical and chemical variables (texture, pH, EC, OM and P). The vegetation analysis shows as dominant specie in both conditions is *Pinus pseudostrobus* Lindl., the floristic structure variables does not show statistical difference ($p > 0.05$) assuming that those have became to its original conditions, however two variables of the horizontal structure (basal and crown areas) are different ($p < 0.05$). Referring to the soil, the analyzed variables texture, pH and EC, has not reached the values before the fire, showing statically difference ($p < 0.05$), but the obtained values does not show big issue for the soil development, besides some of the values are common in the analyzed ecosystem. As conclusion we can say that the arboreal vegetation has a partial recovery, while the soil analyzed has recovered the physical – chemical properties for complete.

INTRODUCCIÓN GENERAL

Los incendios forestales son un fenómeno que existe desde tiempos muy remotos y forma parte esencial de algunos ecosistemas, sin embargo en ocasiones pueden producir efectos perjudiciales, esto dependerá en gran medida del tipo de vegetación impactada y la alteración en los regímenes de fuego (Russell-Smith *et al.*, 2001; Myers, 2006). En este sentido cuando los efectos del fuego son perjudiciales, un aspecto que es importante de considerar es la recuperación de los ecosistemas forestales impactados. El proceso de recuperación después de la incidencia del fuego dependerá principalmente de la intensidad alcanzada por el incendio, el tipo de hábitat y los modelos de precipitación (Main y Tanner, 2013).

Una forma de conocer la recuperación de las áreas forestales impactadas por el fuego es mediante el estudio de los componentes naturales que las integran. La vegetación y el suelo son dos de los componentes que principalmente se ven afectados en un incendio forestal. Existen estudios que demuestran que la vegetación puede sufrir cambios en su fisonomía (Moreira, 2000; Fulé y Laughlin, 2007; Bannister *et al.*, 2008), composición florística (Vilà-Cabrera *et al.*, 2008; Coop *et al.*, 2010) y riqueza de especies (Rees y Juday, 2002). En lo referente al componente edáfico, hay trabajos que comprueban que el fuego puede alterar sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Carballas *et al.*, 2009; Certini, 2005; De Celis, s. f.).

A este respecto, en México se han realizado investigaciones para conocer los efectos y cambios ejercidos por el fuego sobre la vegetación y el suelo (Maldonado *et al.*, 2009; Alanís-Rodríguez *et al.*, 2011; Pérez *et al.*, 2009; Capulín *et al.*, 2010), sin embargo no se ha dado un enfoque específico para analizar la recuperación de las áreas impactadas. Conocer la recuperación de los ecosistemas forestales impactados por el fuego es de suma importancia, sobre todo para aquellos que son considerados de gran interés ecológico, tales

como los bosques de pino-encino los cuales presentan una alta diversidad de especies vegetales y animales.

La información generada contribuirá en la toma de decisiones por parte de los sectores público y privado para realizar una adecuada gestión y un óptimo manejo forestal para este tipo de ecosistemas. Acorde con la problemática descrita, el presente trabajo se enfoca en el estudio de la recuperación de la vegetación y del suelo en áreas que fueron impactadas por el fuego específicamente en un bosque de pino- encino situado dentro de la Sierra Madre Oriental.

HIPÓTESIS

Se considera que la vegetación arbórea y el suelo en un bosque de pino-encino incendiado hace 17 años, han alcanzado las condiciones de un bosque no impactado, por lo que se plantea que:

H0: No existen diferencias significativas en la composición de la vegetación ni en las propiedades del suelo.

OBJETIVO GENERAL

Conocer la recuperación de la vegetación y suelo en áreas incendiadas de la Sierra Madre Oriental.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Los objetivos específicos planteados en la presente investigación fueron los siguientes:

- 1- Estimar la recuperación de la vegetación arbórea en exposiciones barlovento de un bosque de pino-encino impactado por el fuego.

- 2- Conocer el estado actual del suelo en un bosque de pino-encino impactado por el fuego, mediante el estudio de algunas de sus propiedades físicas y químicas.

Para ello, el trabajo fue dividido en tres capítulos principales, los cuales se resumen a continuación:

I. ANÁLISIS DE LA RECUPERACIÓN DE LA VEGETACIÓN Y DEL SUELO EN ÁREAS INCENDIADAS. En este capítulo se realizó un marco teórico de los efectos del fuego sobre los componentes naturales que integran el ecosistema, centrándose específicamente en los componentes de vegetación y suelo, asimismo se dan a conocer algunos de los métodos que pueden ser empleados para determinar la recuperación de la vegetación y del suelo en áreas que fueron impactadas por incendios forestales.

II. RECUPERACIÓN DE LA VEGETACIÓN ARBÓREA EN UN BOSQUE DE PINO-ENCINO IMPACTADO POR EL FUEGO. En este apartado se analizó la recuperación de la vegetación arbórea en un bosque de pino-encino impactado por el fuego. Para ello, primeramente se realizó una caracterización de la vegetación mediante la estimación de índices de valor de importancia y la determinación de la riqueza y diversidad de las especies arbóreas, además fueron analizadas estadísticamente dos variables de la estructura florística y tres de la estructura horizontal empleando una prueba no paramétrica de comparación de medianas mediante la U de Mann-Whitney. Para profundizar en los resultados de las variables de la estructura horizontal, también se realizó una caracterización dasométrica mediante una categorización diamétrica de las especies arbóreas registradas.

III. PROCESO DE RECUPERACIÓN DEL SUELO EN UN BOSQUE DE PINO-ENCINO IMPACTADO POR EL FUEGO. En este capítulo se estudió la recuperación del suelo en un bosque de pino-encino con incidencia de fuego.

Para efectuar el estudio fueron consideradas dos condiciones, una impactada por el fuego y otra no impactada, en cada condición se analizaron cinco variables físico-químicas del suelo, siendo estas: la textura, potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (CE), materia orgánica (MO) y fósforo (P). Los datos obtenidos fueron analizados estadísticamente mediante una comparación de medias empleando la t de *Student*.

CAPÍTULO I

1. Análisis de la recuperación de la vegetación y del suelo en áreas incendiadas

1.1. Resumen

El objetivo de este capítulo fue realizar una descripción de los impactos del fuego sobre la vegetación arbórea y el suelo, así como las formas en que se puede estudiar su recuperación. La vegetación puede presentar la pérdida total o parcial de individuos dependiendo de las características del incendio tales como su duración, forma de consumo de combustibles, intensidad y tipo de vegetación impactada. Los efectos del fuego sobre el suelo están relacionados con la intensidad del incendio, su duración y la profundidad alcanzada, las propiedades físicas que principalmente se ven afectadas están relacionadas con la textura debido a la modificación en la proporción y composición de partículas, también las propiedades químicas pueden verse alteradas especialmente los valores de potencial de hidrógeno (pH) y conductividad eléctrica (CE). Antes de evaluar la recuperación de la vegetación es conveniente realizar una caracterización de la misma mediante el índice de valor de importancia (IVI), además de determinar la diversidad biológica. Para evaluar la recuperación de la vegetación arbórea se pueden considerar diferentes variables de la estructura florística tales como la riqueza y diversidad de especies, y algunas variables de la estructura horizontal como pueden ser la densidad, el área basal y el área de copa. El estudio del suelo se puede realizar considerando los cambios en algunas de sus propiedades físico-químicas como pueden ser la textura, el pH, la CE, el contenido de materia orgánica (MO) y las concentraciones de elementos esenciales tales como el fósforo (P).

Palabras clave: Recuperación, suelo, vegetación.

1.2. Abstract

The main purpose of the chapter is to describe the fire impacts over the arboreal vegetation and soil, as well as the ways to study the recovery of them. The vegetation can show the total or partial loss of individuals depending of the fire features, like its length, the ways of fuel consumption, intensity and type of impacted vegetation. The fire effects over the soil are related to the fire intensity, its length and the reached depth, the physical properties which are mainly affected are related with the soil texture due to the alterations in the proportion and the arrangement of particles, also the chemical properties can be affected, especially the values of potential Hydrogen (pH) and Electrical Conductivity (EC). Before of evaluate the recovery of the vegetation it should be necessary to elaborate its characterization through by the Importance Value Index (IVI), as well as determine the biological diversity. To evaluate the recovery of the arboreal vegetation can consider different variables of the floristic structure such the richest and diversity of the species and some other variables of the horizontal structure such as the density, basal area and crown area. The soil study it can be completed taking as suggestion the changed of some physical-chemical properties as can be the texture, pH, EC, Organic Matter contain (OM) and the essential elements concentrations such as the phosphorus (P).

Key words: Recovery, soil, vegetation.

1.3. Introducción

Desde el origen de las plantas el fuego ha formado parte de los ecosistemas y este ha ido evolucionando según los cambios ambientales que han sido experimentados por la tierra, tales como el aumento en las concentraciones de oxígeno, abundancia de herbívoros, regímenes de precipitación y temperatura (Pausas, 2010). Considerando el punto de vista ecológico, tanto los incendios naturales como de origen antrópico son benéficos y ayudan a mantener la vida en los ecosistemas que han ido evolucionando con el fuego. Sin embargo el fuego también puede tener efectos perjudiciales principalmente en ecosistemas donde la flora y fauna presentes no poseen las adaptaciones necesarias para sobrevivir y verse favorecidas ante este fenómeno (Asociación Mundial sobre el Fuego, 2004).

Los efectos que el fuego puede ejercer sobre los ecosistemas son muy variados y estos estarán en función principalmente del combustible disponible, la intensidad, tiempo desde el último incendio, el tipo de suelo, humedad, topografía del terreno y el tipo de vegetación impactada (Stephens *et al.*, 2012; Ruokolainen y Salo, 2009; Vilà-Cabrera *et al.*, 2008; Camargo *et al.*, 2012; Uribe *et al.*, 2013). Dentro de los componentes ambientales que son afectados por los incendios forestales se encuentran la flora y el componente edáfico, en el caso de la vegetación esta puede presentar pérdida total o parcial de individuos modificando su diversidad. En lo referente al suelo, este puede sufrir alteraciones en sus propiedades físico-químicas tales como la textura, color, densidad aparente, pH, fósforo, materia orgánica, disponibilidad de nutrientes, entre otras (Jhariya y Raj, 2014).

Un aspecto a considerar después de un incendio forestal es la recuperación de los ecosistemas impactados. Para estudiar la recuperación de la vegetación existe la aplicación de diversas metodologías, desde las que se basan en el uso de información geográfica de tipo ráster y vectorial empleando los sistemas de

información geográfica (Rodrigues *et al.*, 2014; Chen *et al.*, 2014), hasta las que consideran el análisis de variables cuantitativas y cualitativas que describen el comportamiento de los componentes naturales que integran el ecosistema (Ruokolainen y Salo, 2009; Marzano *et al.*, 2012; Mikita-Barbato *et al.*, 2015).

En base a lo expuesto, en el presente capítulo se pretende dar a conocer los efectos que el fuego puede ocasionar en las áreas forestales, así como las metodologías que pueden ser empleadas para determinar su recuperación.

1.4. Desarrollo del tema

1.4.1. Efectos de los incendios sobre los ecosistemas forestales

El fuego produce efectos sobre los balances hidrológicos, genera cambios en el suelo, la vegetación y la fauna, además se puede ver afectada la calidad del agua, el aire y la atmósfera e incluso puede tener efectos sobre la calidad del paisaje (Daubenmire, 1979; Urquiza *et al.*, 2004).

Los efectos de los incendios en los ecosistemas son muy variados y dependen de diversos factores tales como el combustible disponible, la intensidad (temperaturas alcanzadas), duración, superficie afectada, frecuencia, tipo de suelo, humedad, pendiente y tipo de vegetación impactada (Neary *et al.*, 1999; Joshi *et al.*, 2013). Estos factores conforman lo que se denomina régimen de fuego para cada tipo de ecosistema. Sin embargo dentro del mismo incendio la severidad y efectos del fuego pueden variar creando condiciones diferentes que incluso en algunos casos la vegetación y el suelo pueden recuperarse fácilmente sin la intervención del ser humano. La recuperación de la vegetación y el suelo son esenciales debido a que estos dos componentes influyen directamente sobre la recuperación del resto del ecosistema.

1.4.2. Efectos del fuego sobre la vegetación arbórea

Los efectos del fuego sobre las plantas pueden variar significativamente entre incendios e incluso dentro de la misma área impactada, esto dependerá del comportamiento del fuego, la duración, el patrón de consumo del combustible, la intensidad del calentamiento subsuperficial, la mortalidad de las plantas y su posterior recuperación (Miller, 2000).

1.4.3. Mortalidad de plantas

La mortalidad de las plantas dependerá principalmente de las temperaturas alcanzadas y el tiempo de exposición al fuego. La mayoría de las células de las plantas mueren al ser sometidas a temperaturas aproximadas de entre los 50 y 55 °C (Wright y Bailey, 1982). En cuanto al tiempo de exposición la mortalidad puede ocurrir en cortos periodos de tiempo a altas temperaturas o bien en un largo periodo a bajas temperaturas (Martin, 1963; Ursic, 1961). Además algunos tejidos de las plantas especialmente en los brotes tienden a ser mucho más susceptibles al calor cuando estos están creciendo activamente y presentan un alto contenido de humedad, que cuando su contenido de humedad es bajo (Wright y Bailey, 1982).

1.4.4. Mortalidad del área de copa

La copa es el conjunto de ramas y hojas que integran la parte superior de un árbol, cuya función es organizar el área fotosintética (hojas) y renovarla. La copa tiene una marcada relación respecto al crecimiento de un árbol, con lo cual se asume que a mayor tamaño de copa mayor crecimiento de los individuos (Diéguez *et al.*, 2003). Este componente de los arboles puede ser afectado por diversos factores, entre ellos los incendios forestales, su grado de afectación o mortalidad dependerá de la estructura de los individuos, la densidad de las ramas y su estado actual (vivas o muertas), la ubicación de la

copa respecto a la superficie combustible y tamaño total de la misma (Brown y Davis, 1973).

1.4.5. Resistencia de las plantas al fuego

Por sus características alguna plantas pueden ser más resistentes al fuego que otras, por ejemplo algunos árboles desarrollan cortezas muy gruesas cuando maduran, lo que los hace resistentes al fuego. Algunas especies que presentan un alto contenido de humedad en la copa y un bajo contenido de resina y aceites son, generalmente más resistentes al fuego que aquellas que contienen en abundancia estas sustancias. Otra característica de algunas plantas que las hace resistentes al fuego es la presencia de yemas protegidas debido a que esto permite que continúen creciendo recuperando la pérdida de ramas, follaje o incluso del tallo completo. En algunos casos las plantas que desarrollan tubérculos son capaces de producir nuevos tallos más rápidamente que aquellas que no los poseen, debido a la reserva alimenticia que estos proveen (Granados y López, 2000).

1.4.6. Efectos del fuego sobre las propiedades físicas y químicas del suelo

Algunos autores mencionan que el suelo puede verse modificado por la incidencia del fuego, esto dependerá básicamente de la profundidad alcanzada, duración del incendio, tipo de suelo, contenido de humedad y sobre todo la intensidad, es decir la temperatura que se haya alcanzado con el incendio. Las modificaciones que el fuego puede producir en el suelo se encuentran relacionadas principalmente con sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Carballas, 2003; Urquiza *et al.*, 2004).

Dentro de las propiedades físicas, los cambios que puede sufrir el suelo están relacionados principalmente con su estructura, textura, porosidad y densidad aparente. En el caso de la textura los efectos que tendrá el fuego sobre este

componente estarán relacionados principalmente con la intensidad del fuego y la susceptibilidad de los minerales que conforman las partículas, en algunos casos el calor producido por el fuego es capaz de provocar fusiones de partículas de tamaño arcilla, incrementándose porcentualmente el tamaño de limo y arena (Ulery y Graham, 1993; Dyrness y Youngberg, 1957; Nishita y Haug, 1972), esto se puede atribuir a las modificaciones térmicas de aluminosilicatos y óxidos de hidróxido de hierro (Bétrémieux *et al.*, 1960; Giovannini *et al.*, 1990).

En lo referente a las propiedades químicas, el pH del suelo es un componente que se ve modificado por la incidencia del fuego. Sus valores se ven incrementados a causa de las cenizas producidas por el incendio, las cuales presenta un elevado contenido de carbonato potásico (CO_3K_2), que por provenir de un ácido débil y una base fuerte, presenta una reacción básica cuando este se hidroliza lo que por consiguiente ocasiona que se vea incrementado el pH. En algunos casos cuando las precipitaciones son muy intensas, estas ocasionan el lavado y desplazamiento de cationes lo cual genera que los incrementos de pH iniciales después del incendio puedan sufrir grandes disminuciones logrando alcanzar valores inferiores a los que se presentaban antes del incendio (Martínez *et al.*, 1991).

En el caso de la conductividad eléctrica (CE) al igual que el pH también puede aumentar por la incorporación y solubilización de las cenizas. En algunos casos el aumento de la CE puede mejorar la fertilidad de los suelos, sin embargo en otros puede ocasionar problemas, esto debido a que en la absorción de algunos nutrientes puede ser impedida por problemas antagónicos derivados de la saturación de elementos minerales. Estudios a corto plazo (uno o dos años) han demostrado que la CE vuelve a los valores que se tenían antes del incendio, o incluso se pueden llegar a presentar valores más bajos, esto a causa de los efectos erosivos que se presentan después del incendio, el lavado de sales en

el perfil y también como consecuencia del aporte de nutrientes por parte de la vegetación que vuelve a surgir en las áreas impactadas (Mataix-Solera, 1999). Entre otras propiedades químicas que se pueden ver modificadas por la incidencia del fuego se encuentra la materia orgánica (MO), la cual puede perderse total o parcialmente dependiendo de la severidad del incendio, aunque, en algunos casos esta puede presentar incrementos por la incorporación de material vegetal parcialmente pirolizado. El comportamiento de este componente en el tiempo variara según el tipo de suelo del que se trate (Carballas *et al.*, 2009). La MO del suelo no solo se puede ver reducida, sino que también puede presentar modificaciones en sus propiedades, a medida que aumenta la temperatura ocasionada por el fuego el humus presenta cambios que le pueden dar características de difícil descomposición biológica, esto debido al aumento en el grado de estabilidad y condensación de las fracciones húmicas dando origen a una sustancia nueva denominada humus piromórfico (Almendros *et al.*, 1984; González *et al.*, 2011).

El fósforo (P) es otro de los componentes químicos del suelo que presenta variaciones en sus concentraciones por el impacto del fuego, este puede experimentar incrementos de hasta 5 a 10 veces sus concentraciones iniciales, siendo también el elemento que mantienen sus valores elevados por más tiempo, ya que a los dos años aún puede presentar un 40% de los incrementos originales (Rosero y Osorio, 2013). La disponibilidad de este elemento está relacionada con los niveles de pH en el suelo, cuando el pH tiende a ser neutro el efecto es positivo, en suelos ácidos el ortofosfato se une a los óxidos de aluminio (Al), hierro (Fe) y manganeso (Mn) a través de quimisorción, mientras que en suelos alcalinos se une a minerales de calcio (Ca) ocasionando su precipitación en forma de fosfato de calcio ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$). Por lo tanto en cierta medida los incendios pueden ocasionan un incremento en el fósforo disponible (Certini, 2005).

1.4.7. Análisis de la recuperación de ecosistemas forestales impactados por el fuego

Después de que un ecosistema forestal es impactado por el fuego una de las cuestiones que surgen es cuanto tiempo tardara en volver a sus condiciones originales. El tiempo de recuperación después de un incendio está influenciado por la intensidad que haya alcanzado el fuego, el tipo de habitat y los modelos de precipitación (Main y Tanner, 2013). Una forma de conocer su recuperación es mediante el estudio de los componentes naturales que integran el ecosistema, dentro de los que se encuentran la vegetación y el suelo, los cuales son los que mayormente se ven afectados por el fuego.

1.4.8. Caracterización de la vegetación de áreas impactadas por el fuego mediante el índice de valor de importancia (IVI)

Previo a la realización de cualquier estudio de la vegetación, es importante realizar una caracterización de la misma con la finalidad de obtener información básica que nos permita conocer la dinámica de la población vegetal que se va a estudiar.

Existen varios índices para describir la vegetación, entre estos se encuentra el índice de valor de importancia (IVI), el cual es un parámetro que permite medir el valor de las especies, típicamente, tomando en consideración tres parámetros los cuales son: la abundancia (densidad), dominancia (cobertura o área basal), y frecuencia, la suma de estos tres parámetros permite determinar el IVI (Cuadro 1). Este valor muestra la importancia ecológica relativa de cada una de las especies dentro de una comunidad vegetal. El IVI resulta el mejor descriptor que cualquiera de los parámetros utilizados de forma individual (Mostacedo y Fredericksen, 2000).

Para poder obtener el IVI es necesario que los datos de abundancia, dominancia y frecuencia sean transformados en valores relativos, de tal manera que la suma total de los valores relativos para cada parámetro debe ser igual a 100. Por lo que la suma total de los valores del IVI debe ser igual a 300 (Müeller y ElleMBERG, 1974).

Cuadro 1. Ecuaciones para determinar el índice de valor de importancia (IVI).

Ecuación	Descripción
<p>Abundancia</p> $A_r = \frac{n}{N} \times 100$	<p>A_r = Abundancia relativa n = número de individuos por especie N = número total de individuos</p>
<p>Dominancia</p> $D_r = \frac{d}{D} \times 100$	<p>D_r = Dominancia relativa d = Dominancia de una especie D = Dominancia de todas las especies</p>
<p>Frecuencia</p> $F_r = \frac{f}{F} \times 100$	<p>F_r = Frecuencia relativa f = Frecuencia de una especie F = Suma de frecuencias de todas las especies</p>
<p>IVI</p> $IVI = A_r + D_r + F_r$	<p>IVI = Índice de valor de importancia A_r = Abundancia relativa D_r = Dominancia relativa F_r = Frecuencia relativa</p>

1.4.9. Estudio de la recuperación de la vegetación mediante el análisis de la estructura florística considerando la diversidad biológica

Una forma de conocer la recuperación de la vegetación en áreas impactadas por el fuego es mediante el estudio de los cambios en su diversidad biológica. Para estudiar la diversidad es necesario considerar la escala de trabajo para el objetivo que se ha planteado, la escala puede ser local o regional. Dependiendo de la escala establecida se asociaran las medidas de la diversidad alfa, beta o gama (Villarreal *et al.*, 2006). La diversidad alfa es la riqueza de especies de una comunidad particular a la que consideramos homogénea, la diversidad beta es el grado de cambio o reemplazo en la composición de especies entre diferentes comunidades en un paisaje, y la diversidad gamma es la riqueza de especies del conjunto de comunidades que integran un paisaje, resultante tanto de las diversidades alfa como de las diversidades beta (Whittaker, 1972).

En este contexto para determinar los efectos del fuego sobre la vegetación arbórea dentro de una comunidad en específico como puede ser un bosque de pino-encino resulta adecuado evaluar su diversidad alfa realizando una comparación con un área de la misma comunidad que no presenta incidencia de fuego (testigo). Existen varios índices para determinar este tipo de diversidad, considerando la riqueza de especies (número de especies) se encuentra el índice de Margalef y considerando la estructura de las comunidades (especies en relación con su abundancia) se encuentra el índice de Shannon-Wiener.

1.4.10. Determinación de la riqueza de especies mediante el índice de Margalef

La riqueza específica (S) es la forma básica para determinar la biodiversidad, debido a que en esta únicamente se contempla el número de especies presentes en una población, sin tomar en cuenta el valor de importancia que presenta cada una de estas. Para determinar la riqueza específica lo más

adecuado es contar con un censo de la población a evaluar. Esto es posible solo en algunos casos donde se tiene un buen conocimiento de los taxas de manera precisa en tiempo y espacio. Sin embargo la mayoría de las veces se tiene que recurrir a índices de riqueza específica obtenidos a partir de un muestreo de la población. Uno de los índices más comunes para medir la riqueza de especies es mediante el índice de Margalef (Moreno, 2001). La ecuación que define este índice es la que se presenta a continuación:

$$D_{Mg} = (S - 1)/\ln N \quad (1)$$

Este índice está basado en la relación lineal entre el presunto número de especies y el logaritmo de la superficie o el número de los individuos, donde S representa el número de especies, N el número de individuos y \ln su logaritmo natural (Margalef, 1957).

1.4.11. Determinación de la diversidad de especies mediante el índice de Shannon

Para profundizar más en el estudio de la recuperación de la vegetación en áreas impactadas por el fuego, además de cuantificar el número de especies dentro de un sitio, es conveniente también realizar un análisis de la diversidad específica considerando las especies en relación a su abundancia, esto permitirá tomar decisiones o emitir recomendaciones en favor de la población o área impactada. La medición de la abundancia relativa de las especies permite conocer aquellas especies que por su escasa representatividad dentro de la población son más susceptibles a los impactos ambientales (Magurran, 1988). Uno de los índices más utilizados para conocer la diversidad específica en relación a la abundancia de las especies es el índice de Shannon, también conocido como Shannon-Wiener. Este índice muestra la diversidad de una población tomando en cuenta dos aspectos: el número de especies presentes y

su abundancia relativa. Las ecuaciones que definen al índice de Shannon son las siguientes:

$$H' = - \sum_{i=1}^s P_i * \ln (P_i) \quad (2)$$

$$P_i = n_i / N \quad (3)$$

Donde H' es la diversidad, el símbolo \sum se refiere a la sumatoria de todos los términos, P_i proporción de las especies, n_i número de individuos de la especie i y N se refiere al número total de individuos (Shannon y Weaver, 1949).

1.4.12. Parámetros de la estructura horizontal a considerar para conocer la recuperación de la vegetación

Los efectos del fuego no solo se ven reflejados en la pérdida total de individuos, sino que también se pueden presentar afectaciones en las variables dasométricas de individuos que fueron parcialmente quemados. En este sentido, considerando algunas variables de la estructura horizontal se podrá conocer la recuperación de la vegetación en áreas impactadas por el fuego. Dentro de las variables que se pueden considerar se encuentran la densidad, el área basal y el área de copa.

La densidad (D). Es una variable que determina la abundancia de una sola o todas las especies que integran una población, y se expresa como el número de individuos (N) sobre una superficie (A) determinada, tal como se muestra en la ecuación número cuatro (Mostacedo y Fredericksen, 2000).

$$D = N/A \quad (4)$$

Los agentes de disturbio en los ecosistemas forestales, tales como los incendios forestales pueden ocasionar la pérdida total o parcial de individuos, lo

que repercute directamente en la abundancia de especies. En este sentido una forma de conocer los efectos del fuego sobre la vegetación es considerando los cambios en su densidad. La comparación de abundancia de especies arbóreas entre un área incendiada y una no incendiada permite conocer la recuperación de este tipo de vegetación.

El área basal (AB). Es la superficie presente en la sección transversal del fuste de un árbol a una determinada altura respecto al suelo (Matteucci y Colma, 1982). En especies arbóreas, este parámetro se obtiene a partir del diámetro medido a la altura de pecho (DAP a una altura de 1.3 m) el cual es introducido en la siguiente ecuación para determinar el área basal:

$$AB = p (D^2/4) \quad (5)$$

Donde:

AB = Área basal

p = 3.141592

D = Diámetro medio a la altura de pecho

El análisis del área basal ha sido considerada en diversos estudios para estudiar los efectos que el fuego ejerce sobre la vegetación (Asbjornsen y Hernández, 2004; De Melo y Durigan, 2010; Marzano *et al.*, 2012), de tal manera que esta variable puede ser tomada en cuenta para conocer la recuperación a mediano y largo plazo de la vegetación arbórea presente en un ecosistema forestal impactado por el fuego.

Área de copa. La copa es la parte del árbol que sostiene el tejido fotosintético, el cual permite adsorber y utilizar la energía radiante en el proceso de crecimiento. De esta manera se podría esperar que árboles que presentan grandes copas crecerán más rápido en comparación con individuos de copas menores. Dentro de los parámetros comúnmente considerados en la medición

de árboles se encuentra la medición del diámetro y el área de copa (Corvalán y Hernández, 2010).

El diámetro de copa se puede calcular a partir de la proyección de sus dos extremos sobre el terreno, midiendo la distancia entre ambos puntos empleando una cinta métrica, como caso particular se pueden realizar dos mediciones siguiendo las direcciones norte-sur y este-oeste, obteniendo de esta manera un valor promedio (Diéguez *et al.*, 2003). A partir del diámetro promedio se puede calcular el área de copa empleando la siguiente ecuación:

$$a_c = \pi (D^2/4) \quad (6)$$

Donde:

a_c = Área de copa

π = 3.141592

D = Diámetro promedio

El fuego puede ocasionar la pérdida total o parcial de la copa de los árboles, esto dependerá de la intensidad alcanzada por el fuego y sobretodo de la adaptación que tengan las especies arbóreas (Alanís-Rodríguez *et al.*, 2011; Rodríguez-Trejo y Fulé, 2003). En este sentido la copa por ser una variable de cambio ante la incidencia del fuego, puede ser considerada para conocer la recuperación de la vegetación arbórea impactada por incendios forestales.

1.4.13. Estudio de las propiedades físicas y químicas del suelo en áreas incendiadas

Para realizar el estudio de los efectos del fuego sobre las propiedades físicas y químicas del suelo es importante ubicar el área de interés con incidencia de fuego, seleccionando primeramente la unidad o unidades primarias de estudio considerando áreas afectadas y no afectadas por el fuego, dentro de cada unidad primaria se podrán seleccionar unidades secundarias de acuerdo a las

geoformas predominantes, las cuales pueden ser valles o laderas, luego, dentro de cada unidad de estas últimas se definen parcelas de muestreo, dentro de cada parcela se toman muestras compuestas de suelo del primer horizonte, generalmente dentro de un rango de profundidad de 0 a 30 cm. Posteriormente cada muestra compuesta debe ser preparada para realizar los análisis físicos y químicos correspondientes (Capulín *et al.*, 2010; Camargo *et. al.*, 2012).

Existen diferentes metodologías para realizar los análisis de las propiedades físicas y químicas del suelo, para el caso de México se encuentra la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 la cual establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de los suelos, estudio, muestreo y análisis (SEMARNAT, 2002). Algunos de los análisis que se contemplan en esta norma son los que se describen a continuación:

Determinación de la textura del suelo mediante el método AS-09 por el procedimiento de Bouyoucos. El principio de este método se basa en que la textura del suelo se define como la proporción relativa de grupos dimensionales de partículas. Proporcionando una idea general de las propiedades físicas del suelo. El único problema que se presenta es separar los agregados y analizar solo las partículas. En este método se elimina la agregación debida a la materia orgánica y la floculación debida a los cationes de calcio y magnesio. El tiempo de lectura es de 40 segundos para la separación de arenas y de 2 horas para partículas de menor tamaño (limo y arcilla). Para determinar la textura se utilizara el triángulo de texturas construido por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA).

Determinación de pH medido en agua a través del método AS-02. Este método se basa en la evaluación electrométrica del pH determinando la actividad del ion hidrógeno (H) mediante el uso de un electrodo cuya membrana es sensitiva al H. Para el caso de los suelos, el pH se mide potenciométricamente en la suspensión sobrenadante de una mezcla de suelo: agua relación 1:2. Existe una clasificación del suelo en cuanto a sus valores de pH (Cuadro 2).

Cuadro 2. Clasificaciones de pH del suelo propuestas por SEMARNAT (2002).

Clasificación	pH
Fuertemente ácido	< 5.0
Moderadamente ácido	5.1 – 6.5
Neutro	6.6 – 7.3
Medianamente alcalino	7.4 – 8.5
Fuertemente alcalino	> 8.5

Medición de la conductividad eléctrica (CE) en extracto de saturación mediante el método AS-18, con conductímetro. Se basa en realizar una medición electrolítica y utilizando una celda de conductividad como sensor. En este método el término extracto de saturación se refiere al extracto acuoso obtenido por filtración al vacío de una pasta de suelo saturado hecha con agua destilada. Las sales solubles se refieren a los constituyentes orgánicos del suelo que son solubles en el agua. La conductividad eléctrica es una medida de la capacidad de un material para transportar la corriente eléctrica. Una solución que contiene iones tiene esa habilidad. La conductividad de una solución electrolítica depende de la concentración total de iones presentes en agua, de la movilidad de cada uno de los iones disueltos, su valencia y de la temperatura a la que se realiza la determinación. El principio por el cual se mide la CE es muy simple: consiste en sumergir dos electrodos en la muestra aplicando un potencial o voltaje a través de dichos electrodos y se mide la corriente que fluye entre estos. El valor obtenido se reportara en decisiemens por metro (dS m^{-1}). Para la interpretación de los valores de conductividad eléctrica se utiliza la clasificación de la Cuadro 3.

Determinación de materia orgánica (MO) realizada mediante el procedimiento descrito por Walkley y Black a través del método AS-07. Este método se basa en la oxidación del carbono orgánico del suelo por medio de una disolución de dicromato de potasio y el calor de reacción que se genera al mezclar con ácido sulfúrico concentrado. Después de un cierto tiempo de espera la mezcla se

diluye, se adiciona ácido fosfórico para evitar interferencias de Fe^{3+} y el dicromato de potasio residual es valorado con sulfato ferroso.

Cuadro 3. Clasificaciones de conductividad eléctrica según SEMARNAT (2002).

CE dS m ⁻¹ a 25 °C	Efectos
< 1.0	Efectos despreciables de la salinidad
1.1 – 2.0	Muy ligeramente salino
2.1 – 4.0	Moderadamente salino
4.1 – 8.0	Suelo salino
8.1 – 16.0	Fuertemente salino
> 16.0	Muy fuertemente salino

Con este procedimiento se detecta entre un 70 y 84 % del carbón orgánico total por lo que es necesario introducir un factor de corrección, el cual puede variar entre suelo y suelo. En los suelos de México se recomienda utilizar el factor 1.298 (1/0.77). El Cuadro 4 muestra los valores de referencia para clasificar la concentración de la materia orgánica en los suelos minerales y volcánicos.

Cuadro 4. Clasificaciones de materia orgánica según SEMARNAT (2002).

Clase	Materia orgánica (%)	
	Suelos volcánicos	Suelos no volcánicos
Muy bajo	< 4.0	< 0.5
Bajo	4.1 – 6.0	0.6 – 1.5
Medio	6.1 – 10.9	1.6 – 3.5
Alto	11.0 - 16.0	3.6 – 6.0
Muy alto	> 16.1	> 6.0

Las metodologías que anteriormente se describieron son muy prácticas y fáciles de implementar siempre y cuando se cuente con el equipo y reactivos necesarios. En algunos caso cuando no se cuenta con el material y reactivos necesarios se deben buscar otras opciones para poder realizar los análisis, en el caso de la determinación de fósforo (P) aparte de los métodos contemplados

dentro de la NOM-021-SEMARNAT-2000 existen otros métodos, tal es el caso del método de extracción de fósforo con papel filtro impregnado con óxido de hierro mejor conocido como prueba P_i (Chardon *et al.*, 1996).

Determinación de fósforo mediante la prueba P_i . El principio de este método se basa en cubrir tiras de papel filtro con precipitados de hidróxido de hierro amorfo (FeO). Cuando el suelo se agita en una solución de cloruro de calcio ($CaCl_2$) esto solubiliza el fósforo, al agregar una de las tiras impregnadas con FeO en la solución el fósforo disuelto es adsorbido, la tira es lavada con agua destilada y posteriormente sumergida en ácido sulfúrico (H_2SO_4), finalmente el P se determina en la solución ácida.

1.5. Conclusiones

El fuego genera cambios en los componentes ambientales que integran los ecosistemas, viéndose reflejados principalmente en la flora y el suelo. Dichos cambios estarán en función de factores tales como la intensidad alcanzada por el incendio, su duración y tipo de vegetación impactada. Dentro de la flora esta puede presentar la pérdida total o parcial de individuos, mientras que en el caso del suelo este puede presentar alteraciones dentro de sus propiedades físico-químicas.

La aplicación de metodologías para el estudio de la vegetación, tales como la caracterización, el análisis de su diversidad biológica, además del estudio de variables de su estructura florística y estructura horizontal brindan la posibilidad de poder conocer la recuperación de un ecosistema impactado por el fuego.

El análisis de algunas propiedades físicas y químicas del suelo tales como la textura, el potencial de hidrógeno (pH), la conductividad eléctrica (CE), la materia orgánica (MO) y el fósforo (P), permitirán conocer la recuperación de este componente tan importante del ecosistema.

CAPÍTULO II

2. Recuperación de la vegetación arbórea en un bosque de pino-encino impactado por el fuego

2.1. Resumen

En los últimos años los factores naturales y antropogénicos han ocasionado que los incendios forestales representen una amenaza importante para muchas comunidades vegetales tales como los bosques de pino, pino-encino, encino-pino, entre otros. El objetivo de la presente investigación fue estimar la recuperación de la vegetación arbórea en un bosque de pino-encino impactado por el fuego. Fueron consideradas dos condiciones fisiográficas similares, una impactada por el fuego y otra aledaña no impactada (testigo), para cada condición se establecieron 20 sitios de muestreo de 400 m² dentro de los cuales se registraron las especies arbóreas (≥ 7.5 cm de diámetro). Se caracterizó la vegetación determinando índices de valor de importancia (IVI) y su diversidad biológica. Para el análisis estadístico se evaluaron dos variables de la estructura florística (índice de Margalef e índice de Shannon) y tres de la estructura horizontal (densidad, área basal y área de copa). La especie con mayor IVI en ambas condiciones fue *Pinus pseudostrobus* Lindl. La densidad y las variables de la estructura florística no presentaron diferencias estadísticas ($p > 0.05$), sin embargo, en la estructura horizontal las áreas basal y de copa fueron menores respecto a los valores del área testigo presentando diferencias significativas ($p < 0.05$). Se concluye que, la vegetación presenta una recuperación en su estructura florística, sin embargo su estructura horizontal aún se encuentra en proceso de recuperación.

Palabras clave: Estructuras florística y horizontal, incendios forestales, vegetación impactada.

2.2. Abstract

In recent years the natural and anthropogenic factors have caused that forest fires represent a major threat to many plant communities such as pine, pine-oak, oak-pine forest, etc. The purpose of this research was to estimate the recovery of the vegetation arboreal in a pine-oak forest. Two conditions, one impacted by the fire and other nearby no impacted (control) were considered. For each condition 20 sites of 100 m² were established registering the arboreal species (≥ 7.5 cm of diameter). The vegetation considering the importance value index (IVI) and their biological diversity was characterised. For the statistical analysis two variables of the floristic structure (Margalef index and Shannon index) and three of the horizontal structure (basal area and crown area) were considered. The specie with highest IVI in both conditions was *Pinus pseudostrobus* Lindl. The density and the variables of the floristic structure showed no statistical differences ($p > 0.05$). However, in the horizontal structure the basal area and crown area are even low compared to the values of the control area showing significant differences ($p < 0.05$). Conclusion that the vegetation present a recovery in their floristic structure, however, their horizontal structure is still in a recovery process.

Key words: Floristic and horizontal structures, forest fires, impacted vegetation.

2.3. Introducción

Los incendios forestales son impactos ocasionados por el fuego sobre la vegetación forestal, sus efectos pueden ser positivos o negativos dependiendo de su intensidad, duración y tipo de vegetación impactada. Los efectos positivos de los incendios sobre la vegetación se reflejan principalmente en aquellas especies que han logrado desarrollar ciertas adaptaciones que les permiten tolerar la defoliación e incluso la destrucción de sus tallos por la acción del fuego, mientras que los impactos negativos se presentan mayormente en la

vegetación de tipo arbustiva o de porte bajo debido a que a menudo su corteza es más delgada (Russell-Smith *et al.*, 2001).

En México el fenómeno ha tomado gran importancia por parte del sector público y la comunidad científica, sobre todo después de los incendios ocurridos en el año de 1998 debido a la gran cantidad de eventos que se suscitaron (14 445 incendios) y la superficie impactada (más de 800 000 ha) (FAO, 2002). Aunque en el país la superficie ocupada por ecosistemas forestales con vegetación arbórea impactada por el fuego no es tan significativa en comparación con otros tipos, los efectos sobre esta son una causa importante de degradación debido a que su recuperación es muy prolongada. Un ejemplo de este tipo de ecosistemas es el bosque de pino-encino, el cual presenta una gran diversidad de especies de flora y fauna, sin embargo se encuentra amenazado por incendios de origen natural y antropogénico, así como la deforestación ocasionada por el mal aprovechamiento de la madera.

Los efectos que el fuego ejerce sobre la vegetación han sido estudiados en diversas partes del mundo (Luis-Calabuig *et al.*, 2001; Madrigal *et al.*, 2011; Marzano *et al.*, 2012; Chen *et al.*, 2014), al respecto, para el país también existen algunas investigaciones relacionadas con el tema, sobre todo las realizadas en el centro y noreste de México enfocadas al estudio de los cambios en la vegetación, la composición, estructura y diversidad arbórea en áreas restauradas, así como de regeneración natural post-fuego (Capulín *et al.*, 2010; Alanís-Rodríguez *et al.*, 2010; Alanís-Rodríguez *et al.*, 2012; González *et al.*, 2008). Sin embargo, no existen investigaciones enfocadas específicamente al estudio de la recuperación de la vegetación arbórea en bosques de pino-encino, por tal razón, resulta necesario realizar trabajos de investigación que permitan conocer la recuperación de la vegetación después de un incendio, lo que permitirá tomar decisiones para realizar un óptimo manejo forestal en este tipo de ecosistemas. En este sentido, el objetivo de esta investigación fue estimar la recuperación de la vegetación arbórea en un bosque de pino-encino

impactado por un incendio forestal ocurrido en el año de 1998 y cuyo grado de afectación implicó daños parciales (Treviño *et al.*, 2000).

2.4. Materiales y métodos

2.4.1. Área de estudio

El área de estudio se localiza dentro del Ejido La Siberia, Municipio de General Zaragoza, Nuevo León, México, entre las coordenadas 99° 49' y 99° 51' de longitud oeste y 23° 50' y 23° 52' de latitud norte (Figura 1). Fisiográficamente se encuentra situada dentro de la provincia fisiográfica Sierra Madre Oriental, subprovincia Gran Sierra Plegada (INEGI, 2000a; Contreras, 2007). El clima es de tipo C(E)(w1)(x') semifrío subhúmedo, con una temperatura media anual que varía entre los 5 y 12 °C y una precipitación media anual de 700 mm con lluvias marcadas en verano (INEGI, 2000b).

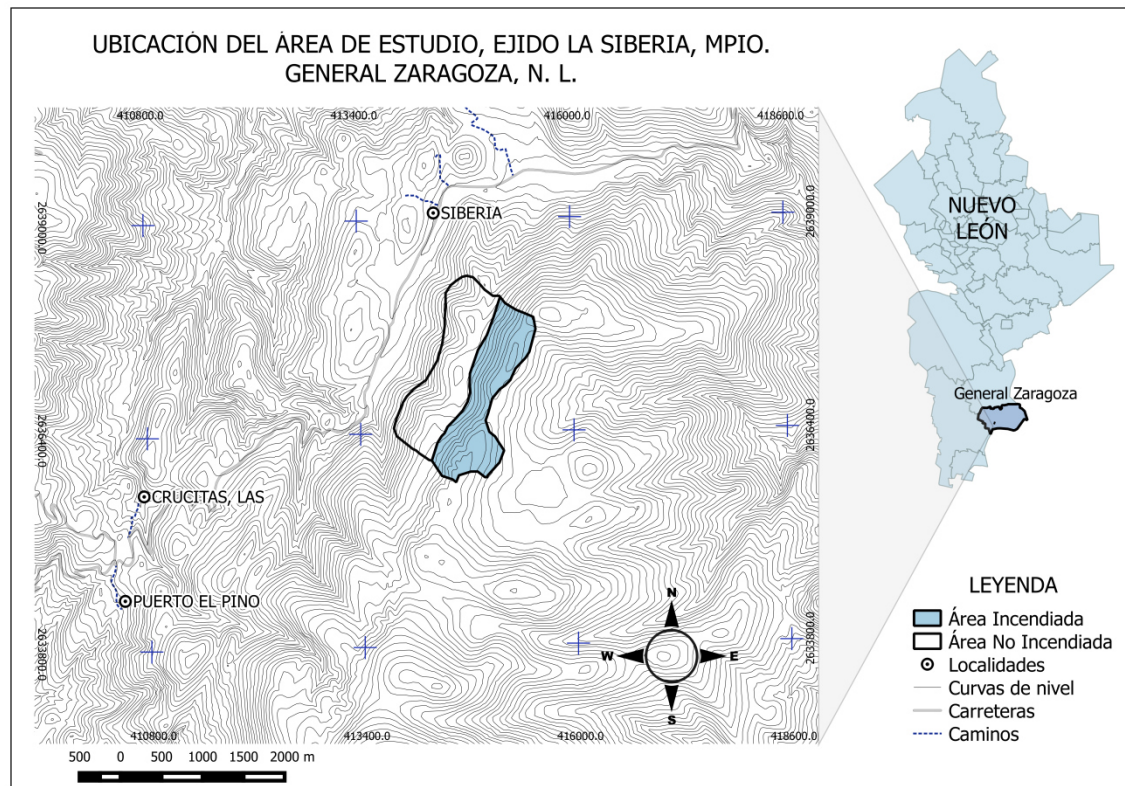


Figura 1. Ubicación del área de estudio.

La topografía es accidentada con pendientes pronunciadas. Presenta una altitud de 3000 msnm, con exposición noreste de 45°. Estas condiciones favorecen el desarrollo de bosques de pino-encino, donde las especies dominantes son *Pinus pseudostrobus* Lindl. y *Quercus spp.* Esta área fue impactada por un incendio forestal en el año de 1998 inducido por las condiciones meteorológicas atribuidas al fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur (ENSO) y cuyo grado de afectación implicó daños parciales (Yocom *et al.*, 2010, Treviño *et al.*, 2000). Para el establecimiento del área de estudio se consideraron dos condiciones; una impactada por el fuego y otra no impactada aledaña.

2.4.2. Selección del área de estudio

La primera etapa de la investigación consistió en definir el área de estudio, para esto se revisaron imágenes Landsat desde el año 1998 a la fecha, las imágenes se obtuvieron de la página oficial LandsatLook Viewer del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS por sus siglas en inglés), la finalidad de esto fue identificar las zonas de la Sierra Madre Oriental afectadas por incendios forestales en 1998 y que a la fecha no habían sido impactadas nuevamente, se identificaron algunas áreas impactadas dentro del municipio de General Zaragoza, Nuevo León. Posteriormente en la página oficial del Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI) fueron descargadas en formato vectorial las cartas topográficas de uso de suelo y vegetación G1411, F1401 y F1402, serie V, escala 1:250 000 que abarcan el municipio de General Zaragoza.

Mediante el uso del programa Qgis 2.8.2-Wien se delimitó el área de estudio utilizando las imágenes Landsat y las cartas de uso de suelo y vegetación, con las imágenes de satélite se delimitó la poligonal que había sido impactada por el fuego, y con las cartas de uso de suelo se identificaron los tipos de vegetación afectados delimitando el tipo de vegetación de importancia para esta investigación correspondiente a un bosque de pino-encino (Figura 2).

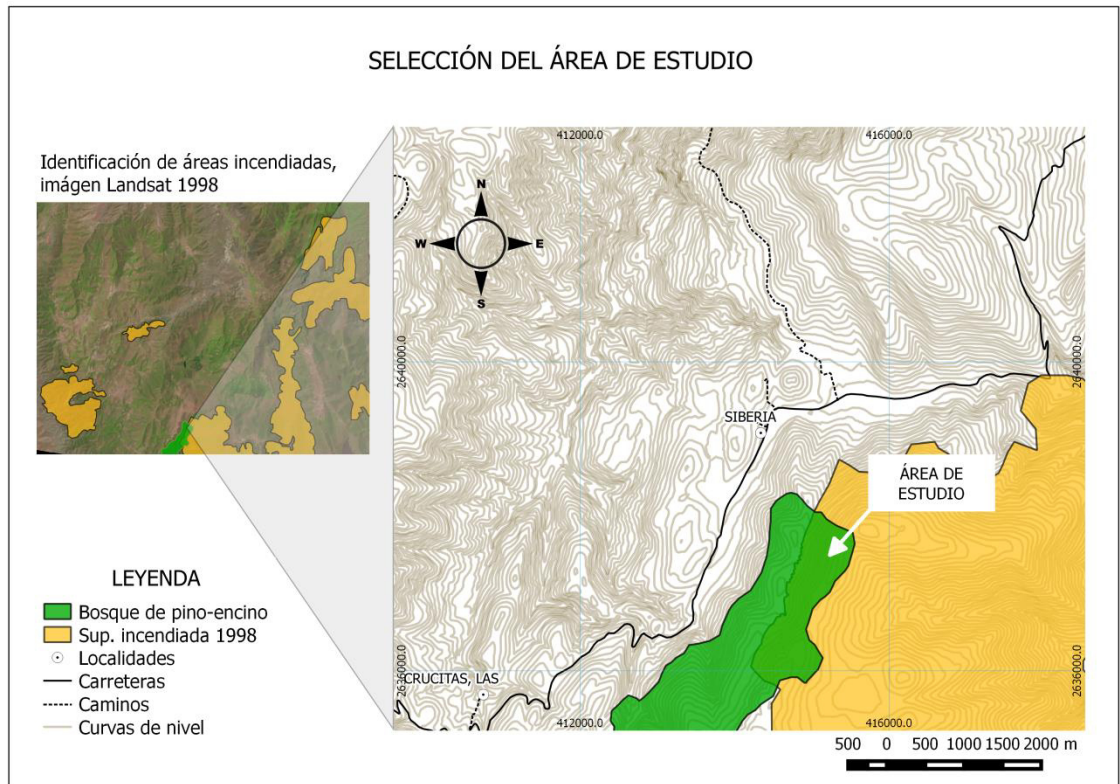


Figura 2. Selección del área de estudio.

Debido a la importancia ecológica que representan los ecosistemas de bosque de pino-encino y a que dentro de la vegetación arbórea fue uno de los mayormente impactados por los incendios forestales en el año 1998 (CONABIO, s. f.), se optó por elegir este tipo de vegetación para el desarrollo de esta investigación.

2.4.3. Establecimiento de sitios de muestreo

Para el establecimiento de los sitios de muestreo se consideró la topografía del terreno, el tipo de vegetación estudiada y la experiencia en campo del equipo de trabajo.

2.4.4. Forma y tamaño de los sitios de muestreo

Fueron establecidos 10 conglomerados siguiendo el esquema del Inventario Nacional Forestal y de Suelos (CONAFOR, 2012), cada conglomerado con cuatro unidades de muestreo de forma circular de 400 m² con radio de 11.28 m (por tratarse de vegetación de clima templado) y acomodados en forma de “Y” invertida con equidistancia a partir del centro a cada 45.14 m, a partir del primer sitio se estableció el segundo con rumbo Norte 0°, el tercero con rumbo sureste azimut de 120° y el cuarto con rumbo suroeste azimut de 240° como se muestra en la Figura 3.

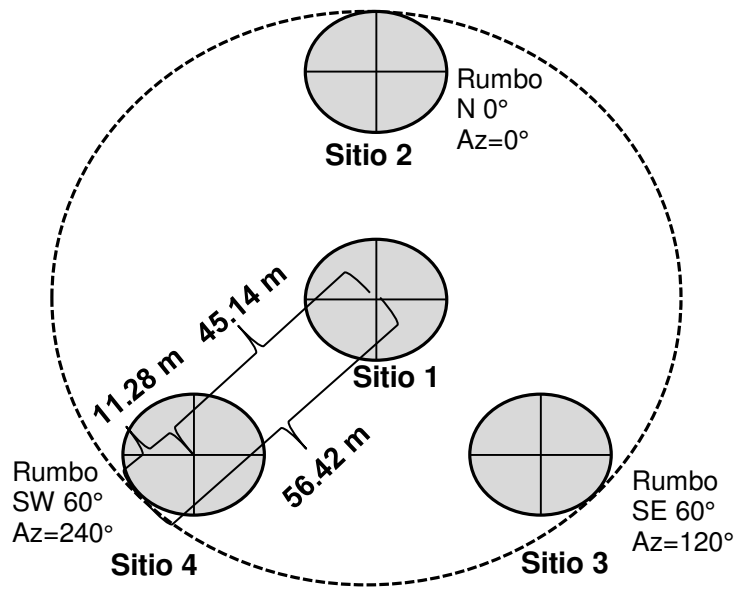


Figura 3. Forma de las unidades de muestreo empleadas.

2.4.5. Distribución de los sitios de muestreo

La distribución de los sitios se estableció bajo un muestro de tipo estratificado debido a que dentro del área de estudio se presentaban algunas condiciones diferentes tales como áreas desprovistas de vegetación que no eran de interés para la investigación. Mediante el uso de ortofotos se realizó la rodalización de las áreas con presencia de vegetación dentro de las cuales se establecieron los

sitios de muestreo, esto se realizó empleando el sistema de información geográfica Qgis 2.8.2-Wien (Figura 4).

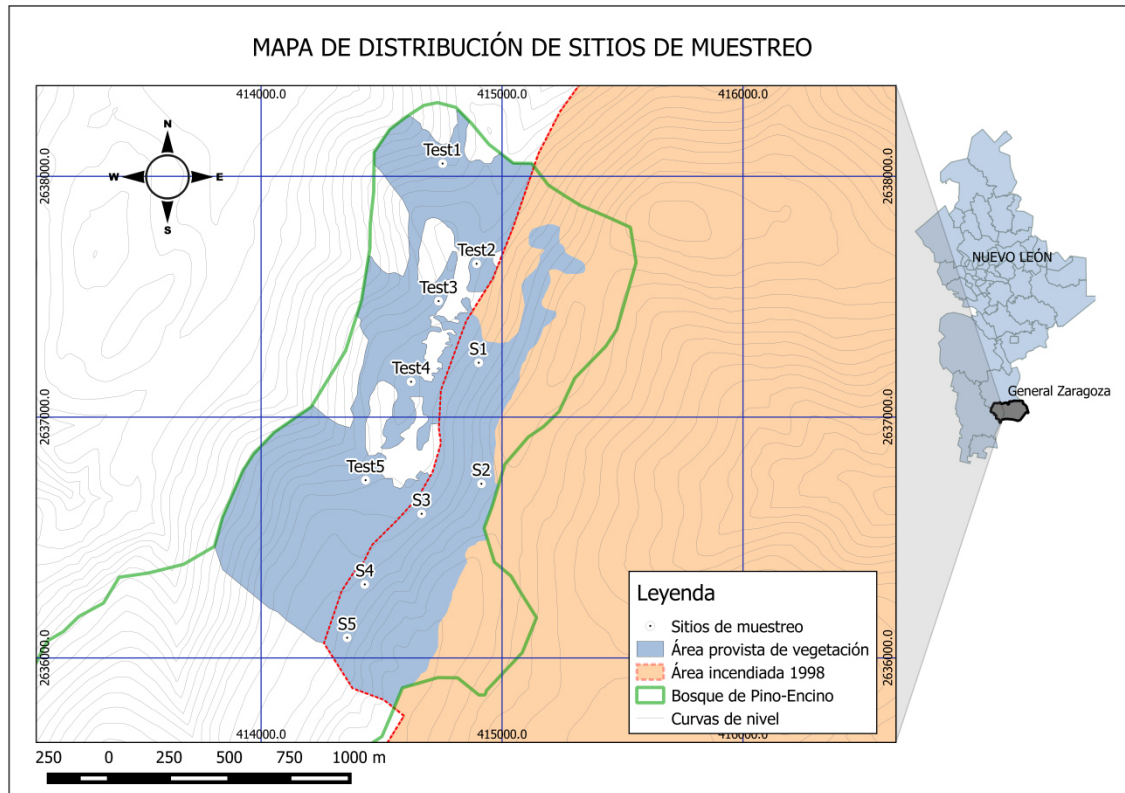


Figura 4. Distribución de sitios de muestreo.

2.4.6. Determinación del número de sitios de muestreo

Para determinar el número de sitios que serían establecidos se utilizó la metodología del promedio corrido, la cual consiste en calcular el promedio de especies acumuladas por cada sitio agregado. Al adicionar el primer sitio, los promedios suelen ser muy variables entre sí, sin embargo, a medida que se van adicionando más sitios el promedio tiende a estabilizarse, cuando esto sucede se puede decir que el muestreo es representativo (Mostacedo y Fredericksen, 2000). Para efectos de esta investigación considerando el promedio corrido de acumulación de especies para cada uno los subsitios que conforman a cada conglomerado, se obtuvo que el número adecuado sería entre 18 y 20 subsitios

tanto para el área incendiada como la no incendiada (Figura 5), de esta manera se optó por establecer cinco conglomerados con cuatro subsitios en ambas condiciones (20 subsitios en total para cada condición).

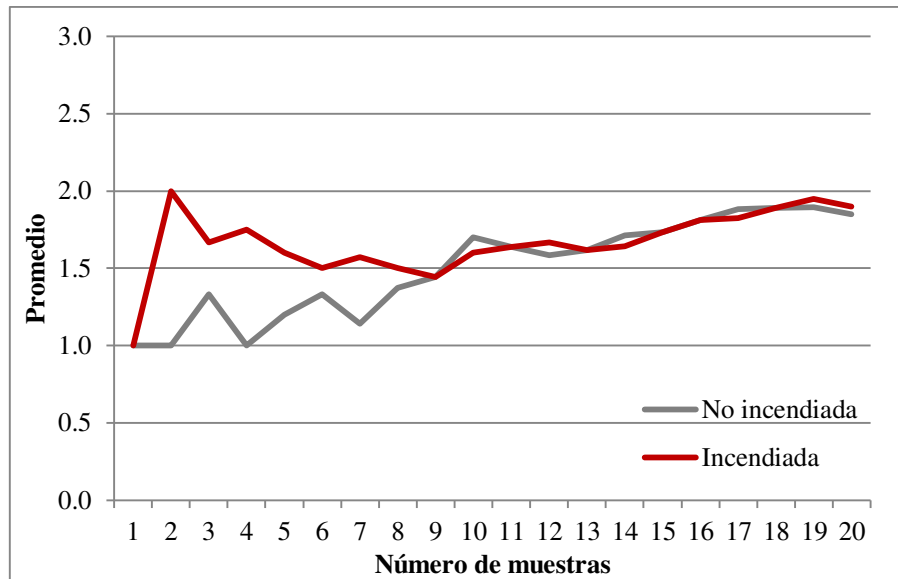


Figura 5. Determinación del número de sitios de muestreo mediante el promedio corrido.

2.4.7. Levantamiento de datos de vegetación

En cada uno de los subsitios de 400 m² que conforman a cada conglomerado se registraron las especies arbóreas con un diámetro altura de pecho (DAP) > 7.5 cm, para cada individuo se determinó el área de copa midiendo esta en dos sentidos norte-sur y este-oeste. Así mismo se realizó una colecta botánica para la identificación de las especies registradas.

2.4.8. Caracterización de la vegetación

Para conocer la organización de las especies arbóreas presentes en el área de estudio se realizó la caracterización de la vegetación mediante indicadores ecológicos de abundancia (A_r), dominancia (D_r) y frecuencia (F_r) para obtener el

índice de valor de importancia (*IV*) para cada una de las especies presentes (Müeller y Elleberg, 1974).

Para calcular la abundancia relativa se utilizó la siguiente ecuación:

$$A_r = \frac{n}{N} * 100 \quad (7)$$

Donde:

A_r = Abundancia relativa

n = Número de individuos por especie

N = Número total de individuos

La dominancia relativa se estimó con:

$$D_r = \frac{d}{D} * 100 \quad (8)$$

Donde:

D_r = Dominancia relativa

d = Dominancia de una sola especie

D = Dominancia de todas las especies

La frecuencia relativa se calculó con la siguiente ecuación:

$$F_r = \frac{f}{F} * 100 \quad (9)$$

Donde:

F_r = Frecuencia relativa

f = Frecuencia de una sola especie

F = Suma de frecuencia de todas la especies

El índice de valor de importancia (IVI) se define como:

$$IVI = A_r + D_r + F_r \quad (10)$$

Además se realizó un análisis de la diversidad biológica a nivel comunidad para ambas condiciones, tomando en cuenta su estructura florística (riqueza y diversidad de especies). Considerando la riqueza de especies fue empleado el índice de Margalef (Margalef, 1957), el cual se define por la siguiente ecuación:

$$D_{Mg} = (S - 1) / \ln N \quad (11)$$

Donde:

D_{Mg} = Riqueza de especies

S = Número de especies presentes

\ln = Logaritmo natural

N = Número total de individuos

Tomando en cuenta la diversidad de las especies se utilizó el índice de Shannon, el cual muestra la diversidad de una población considerando dos aspectos: el número de especies presentes y su abundancia relativa (Shannon y Weaver, 1949). Las ecuaciones que definen al índice de Shannon son las que se presentan a continuación:

$$H' = - \sum_{i=1}^s P_i * \ln (P_i) \quad (12)$$

$$P_i = n_i / N \quad (13)$$

Donde:

H' = Diversidad de especies

\sum = Sumatoria de todos los términos

P_i = Proporción de las especies

\ln = Logaritmo natural

2.4.9. Análisis estadístico

Posteriormente, con el propósito de poder realizar inferencias estadísticas para determinar el estado de recuperación que presenta la vegetación arbórea del área incendiada respecto a la no incendiada, se determinaron las variables de la estructura florística (riqueza y diversidad de especies) y de la estructura horizontal (densidad, área basal y área de copa) para cada uno de los subsitios que conforman a cada conglomerado. Para determinar el tipo de análisis estadístico que sería empleado, las variables fueron sometidas a pruebas preliminares de normalidad e igualdad de varianzas, donde se determinó que las variables si presentaban igualdad de varianzas, sin embargo su distribución no fue normal. Se optó por emplear una prueba no paramétrica de comparación de medianas aplicando la U de Mann-Whitney (Spiegel, 1991), para lo cual se utilizó el software libre de análisis estadístico denominado R. En el caso de la estructura horizontal, para profundizar en los resultados obtenidos para la variable área basal, se realizó una caracterización dasométrica mediante una categorización diamétrica.

2.5. Resultados y discusión

2.5.1. Caracterización de la vegetación arbórea

Como resultado de la caracterización de la vegetación arbórea se determinó que en el área incendiada se presentaron cuatro órdenes, cuatro familias, cuatro géneros y cinco especies arbóreas, siendo las más representativas *Pinus pseudostrobus* Lindl. (IVI = 190.1) y *Abies vejarii* Martínez (IVI = 69.5). En lo referente al área no incendiada, esta presentó cuatro órdenes, cuatro familias, cinco géneros y cinco especies arbóreas siendo las de mayor representatividad

Pinus pseudostrobus Lindl. (IVI = 146.7) y *Quercus sideroxyla* Bonpl. (IVI = 97.7), como se muestra en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Índice de valor de Importancia bajo dos condiciones.

Especie	Área incendiada					
	Abundancia		Dominancia		Frecuencia Relativa	IVI
	N ha ⁻¹	Relativa	m ² ha ⁻¹	Relativa		
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	125	67.1	3197.2	70.4	52.6	190.1
<i>Abies vejarii</i> Martínez	45	24.2	985.8	21.7	23.7	69.5
<i>Arbutus xalapensis</i> Kunth	11	6.0	293.1	6.5	15.8	28.3
<i>Pinus hartwegii</i> Lindl.	3	1.3	62.4	1.4	5.3	8.0
<i>Populus tremuloides</i> Michx.	3	1.3	3.6	0.1	2.6	4.1
Total	186	100	4542.1	100	100	300
Especie	Área no incendiada					
	Abundancia		Dominancia		Frecuencia Relativa	IVI
	N ha ⁻¹	Relativa	m ² ha ⁻¹	Relativa		
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	89	43.0	4477.2	60.4	43.2	146.7
<i>Quercus sideroxyla</i> Bonpl.	81	39.4	2116.6	28.6	29.7	97.7
<i>Arbutus xalapensis</i> Kunth	34	16.4	769.0	10.4	21.6	48.4
<i>Abies vejarii</i> Martínez	1	0.6	35.6	0.5	2.7	3.8
<i>Populus tremuloides</i> Michx.	1	0.6	11.4	0.2	2.7	3.5
Total	206	100	7409.9	100	100	300

IVI = Índice de valor de importancia.

Cabe señalar que en el área incendiada también se presentaban individuos arbóreos de *Quercus spp.*, sin embargo, debido a que estos no cumplían con el DAP establecido (≥ 7.5 cm) en el muestreo no fueron registrados. En base a esto y considerando los datos proporcionados por INEGI (2012), se asume que ambas condiciones corresponden a un bosque de pino-encino.

En el análisis de la diversidad biológica a nivel comunidad se encontró que el ecosistema incendiado presenta una riqueza de especies ($D_{Mg} = 0.80$) muy semejante a la presente en el no incendiado ($D_{Mg} = 0.78$), de igual manera los valores de diversidad de especies del área incendiada ($H' = 0.9$) en comparación con la no incendiada ($H' = 1.09$) son muy parecidos. Al respecto, en un estudio realizado por Alanís-Rodríguez *et al.* (2008), encontraron que los valores de riqueza y diversidad de especies arbóreas de un bosque de pino-

encino impactado por el fuego se vieron ligeramente incrementados respecto a un ecosistema de referencia. Con esta información se considera que los ecosistemas de bosque de pino-encino que han sido impactados por el fuego pueden incrementar los valores de riqueza y diversidad de especies pudiendo llegar e incluso sobrepasar los niveles presentes bajo condiciones sin incidencia de fuego. Para el caso de la presente investigación los resultados obtenidos sugieren que la riqueza y diversidad de especies han alcanzado las condiciones que se presentaban originalmente, esta hipótesis es sustentada con los resultados estadísticos.

2.5.2. Resultado del análisis estadístico para las estructuras florística y horizontal

Como se había previsto a nivel comunidad, el análisis estadístico indicó que las variables de la estructura florística (riqueza (D_{Mg}) y diversidad (H') de especies) no presentan diferencias estadísticas ($p > 0.05$), (Cuadro 6). Esto significa que la estructura florística es la misma para ambas condiciones, y por lo tanto ha alcanzado su recuperación.

Respecto a la estructura horizontal, los valores de área basal y de copa bajo condiciones de incendio aún se encuentran por debajo de los valores que presenta el área de referencia, mostrando diferencias estadísticas ($p < 0.05$), mientras que la densidad para ambas condiciones resultó ser estadísticamente igual, al no presentar diferencias ($p > 0.05$), (Cuadro 6).

Cuadro 6. Resultados estadísticos para las estructuras florística y horizontal.

Variable	Estructura florística		Valor-p ¹
	Incendiada	No Incendiada	
Índice de Margalef (D_{Mg})	0.44 a	0.42 a	0.978
Índice de Shannon (H')	0.53 a	0.57 a	0.697
Estructura horizontal			
Área Basal ($m^2 ha^{-1}$)	13 a	20 b	0.008
Área de copa ($m^2 ha^{-1}$)	3,944 a	6,813 b	0.022
Densidad ($N ha^{-1}$)	188 a	188 a	0.786

¹ p-valor obtenido empleando la prueba U de Mann-Whitney; Cifras seguidas con la misma literal en cada fila, son estadísticamente iguales.

La disminución en área basal con cuerda con lo reportado por González *et al.* (2008), quienes también encontraron una menor cantidad de área basal en rodales de pino-encino impactados por el fuego. Con esto se corrobora que el fuego ocasiona la disminución de área basal y que estos valores pueden permanecer bajos aún después de un largo periodo de tiempo. Para el caso de esta investigación, se asume que los valores de área basal aún no se han recuperado.

Para el área de copa, los valores obtenidos difieren de los reportados por Alanís-Rodríguez *et al.* (2011), quienes evaluaron un ecosistema similar impactado por el fuego, esto se atribuye a que en comparación con el estudio mencionado donde se registraron las especies arbóreas con diámetros ≥ 1 cm, en la presente investigación se registraron las especies arbóreas con diámetro ≥ 7 cm, lo que influyó en que se registrara una menor cantidad de individuos y por lo tanto se vieran reducidos los valores de área de copa.

Referente a la densidad, los valores obtenidos difieren con los reportados en un estudio realizado en un ecosistema similar en el estado de Jalisco (Santiago *et al.*, 2012), esto se atribuye a que en los ecosistemas de bosque de pino-encino de este estado presentan una mayor riqueza de especies debido al tipo de cobertura forestal, la altitud, el área basal arbórea, la cobertura del dosel y las

precipitaciones invernales que se presentan (Reich *et al.*, 2010). Sin embargo los resultados son similares a los reportados en un ecosistema maduro ubicado dentro de la Sierra Madre Oriental (Jiménez *et al.*, 2001), donde se atribuye que estas densidades se deben a que las áreas presentan una calidad de sitio pobre debida al tipo de suelo y ante todo por las condiciones climáticas que se presentan.

A pesar de que la densidad presente en ambas condiciones es similar, el espacio ocupado por los individuos (área basal) es menor en el área incendiada respecto a la no incendiada. Esto se atribuye a que dentro del área incendiada (Figura 6), aunque se presenta una buena cantidad de individuos principalmente *Pinus pseudostrobus* dentro de categorías diamétricas considerables, esta condición no cuenta con categorías que sobrepasen los 55 cm.

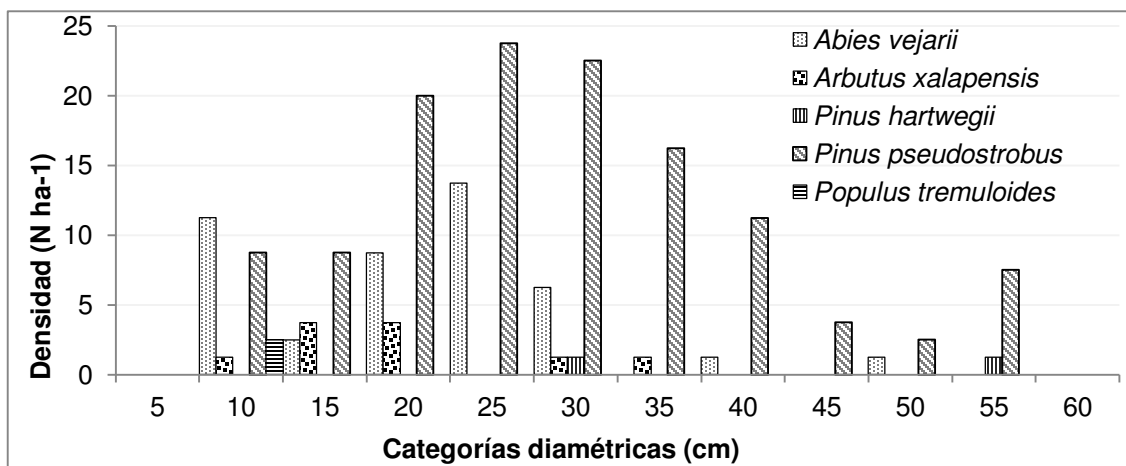


Figura 6. Densidad de especies por categoría diamétrica en el área incendiada.

Mientras que el área no incendiada (Figura 7), a pesar de que sólo presenta una alta densidad dentro la categoría diamétrica de 40 cm ocupada por *Pinus pseudostrobus*, esta condición presenta categorías diamétricas que sobrepasan los 55 cm, además de presentar una gran acumulación de individuos dentro de otras categorías dimétricas considerables ocupadas principalmente por las

especies *Quercus sideroxyla*, *Arbutus xalapensis* y *Pinus pseudostrobus*. Esto influye en que se tenga una mayor área basal dentro del área no incendiada como se demostró en la prueba estadística.

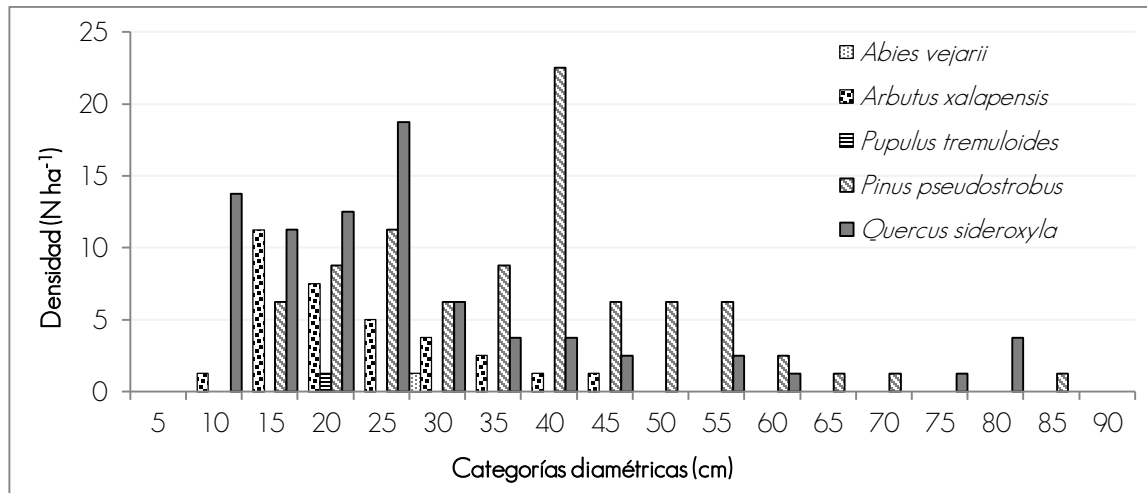


Figura 7. Densidad de especies por categoría diamétrica en el área No incendiada.

2.6. Conclusión

De acuerdo a los resultados obtenidos se concluye que la vegetación arbórea presenta una recuperación en la estructura florística, sin embargo la estructura horizontal aún se encuentra en proceso de recuperación. La especie dominante para ambas condiciones fue *Pinus pseudostrobus* Lindl., y aunque *Quercus spp.* no se registró en el área incendiada debido a que no cumplía con el DAP establecido (≥ 7.5 cm) en el muestreo, se considera que ambas condiciones corresponden a un bosque de pino-encino. Las variables consideradas en la estructura florística (riqueza (D_{Mg}) y diversidad de especies (H')), además de la densidad no presentaron diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$), asumiendo su recuperación, sin embargo en la estructura horizontal las variables área basal y área de copa aún se encuentran por debajo de los valores previos al incendio, presentando diferencias estadísticas ($p < 0.05$).

CAPÍTULO III

3. Proceso de recuperación del suelo en un bosque de pino-encino impactado por el fuego

3.1. Resumen

El suelo forma parte esencial del ciclo de nutrientes en un ecosistema forestal, sin embargo es sensible a sufrir cambios en sus propiedades físicas y químicas por alteraciones antrópicas o naturales como son los incendios forestales. El objetivo de la presente investigación fue conocer el estado actual del suelo en un bosque de pino-encino impactado por el fuego, mediante el estudio de algunas de sus propiedades físicas y químicas. Se consideraron dos condiciones, una impactada por el fuego y otra aledaña no impactada (testigo), para cada condición se establecieron cinco sitios de muestreo dentro de los cuales se colectó una muestra compuesta de suelo. En cada muestra se determinó textura, potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (CE), materia orgánica (MO) y fósforo (P). Estas dos últimas no presentaron diferencias estadísticas ($p > 0.05$), sin embargo, los valores de textura (concentración de limos), pH y CE fueron superiores respecto al área testigo mostrando diferencias estadísticas ($p < 0.05$). Estadísticamente el suelo aún se encuentra en un proceso de recuperación, no obstante, considerando que los valores obtenidos no representan problemas para el suelo, además de que estos son característicos del ecosistema bajo estudio, se concluye que las propiedades físico-químicas analizadas se encuentran recuperadas.

Palabras clave: Incendios forestales, propiedades físicas y químicas del suelo.

3.2. Abstract

The soil is an essential part of the nutrients cycle in the forestry ecosystem, however is sensitive to suffer changes in its physical and chemical properties due to anthropogenic or natural alterations as the forestry fires. The purpose of this research was to know the actual state of the soil in a pine-oak impacted forest by fire, by means of the study of some of its physical and chemical properties. Are considered two conditions, one of them impacted by fire and the other one next to not impacted (control), for each condition were selected five sites to collect in each of them a soil sample. Were determinate the texture, potential Hydrogen (pH), Electrical Conductivity (EC), Organic Matter (OM) and Phosphorus (P). Where OM and P does not shows statistical differences ($p > 0.05$), however, the texture (slime concentration), pH and EC values were higher against the witness with statistical differences ($p < 0.05$). Talking statically we can say the soil is still in the recovery process, nevertheless, considering the obtained values does not mean a soil issue, also those are representatives of the ecosystem studied, as conclusion we have that the physical and chemical properties analyzed are recovered.

Key words: Forest fire, soil physical and chemical properties.

3.3. Introducción

El conocimiento de los efectos que el fuego puede ejercer sobre las áreas forestales ha cobrado gran importancia, tanto para el sector público como para la comunidad científica, esto debido a que el fuego ha sido considerado como agente perjudicial. Sin embargo se debe tener en cuenta que el fuego también puede tener efectos benéficos y por lo tanto debe ser considerado como parte integral de los ecosistemas.

Los cambios que el fuego ejerce sobre las áreas forestales se relacionan generalmente con las afectaciones sobre la vegetación. Sin embargo existen otros recursos que resultan críticos si son afectados y que es importante que sean considerados, dentro de estos se encuentra el recurso edáfico. Los cambios que sufre el suelo pueden ser a corto, mediano o largo plazo, dichos efectos estarán en función principalmente de la severidad del incendio (Granged, 2011). A corto y mediano plazo los principales cambios que se pueden presentar en el suelo se relacionan con el aumento en los valores de pH, conductividad eléctrica (CE) y la disminución de humedad y materia orgánica, en algunos casos pueden verse disminuidas las concentraciones de ciertos elementos químicos tales como el nitrógeno orgánico y el aumento de otros como puede ser el fósforo debido al aporte de cenizas generadas después del incendio (Hernández *et al.*, 2013; Rosero y Osorio, 2013; Mikita-Barbato *et al.*, 2015; Camargo *et al.*, 2012; Ekinci, 2006). Algunas propiedades físicas también pueden verse modificadas dentro de las que se encuentran la textura, la densidad, la porosidad y la permeabilidad (Certini, 2005; Jhariya, 2014). A largo plazo los cambios se relacionan principalmente con la pérdida del suelo por efectos de la erosión hídrica favorecida por la hidrofobicidad (repelencia al agua) generada, la cual ocasiona que se reduzca la infiltración y por consiguiente se propicien los procesos erosivos (Bodí *et al.*, 2012).

Un aspecto que es importante de considerar en los ecosistemas que han sido impactados por el fuego es el estudio de su recuperación. En lo referente al suelo existe una gran cantidad de investigaciones realizadas a nivel nacional e internacional, sin embargo estas se enfocan principalmente a los efectos y cambios ocasionados por la incidencia del fuego (Giorgis *et al.*, 2013; Hepper *et al.*, 2008; Pérez *et al.*, 2009; Capulín *et al.*, 2010). Con base en esto, resulta necesario realizar investigaciones que permitan conocer la recuperación del suelo, principalmente en ecosistemas que son de gran importancia ecológica. En este sentido, el objetivo de la presente investigación fue conocer el estado

actual del suelo en un bosque de pino-encino impactado por el fuego, mediante el estudio de algunas de sus propiedades físicas y químicas.

3.4. Materiales y metodos

3.4.1. Área de estudio

El estudio se realizó en el noreste de México dentro de los límites del ejido denominado La Siberia, municipio de General Zaragoza, Nuevo León, situado entre las coordenadas geográficas $99^{\circ} 49'$ y $99^{\circ} 51'$ de longitud oeste y $23^{\circ} 50'$ y $23^{\circ} 52'$ de latitud norte (Figura 8).

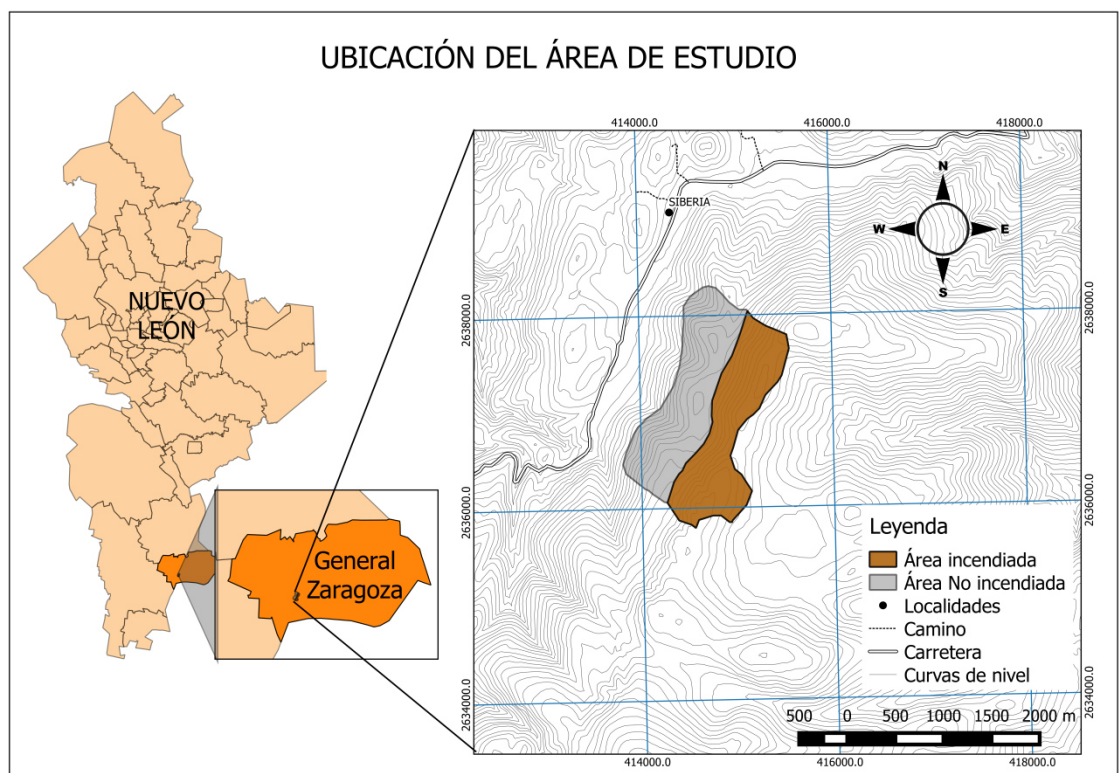


Figura 8. Plano de ubicación del área de estudio.

Presenta una altitud de 3 000 msnm. El clima es de tipo C(E)(w1)(x'), semifrío subhúmedo (700 mm de precipitación anual), con lluvias marcadas en verano y una temperatura media anual que oscila entre los 5 y 12 °C (INEGI, 2000b).

Pertenece a la provincia fisiográfica Sierra Madre Oriental, subprovincia Gran Sierra Plegada donde dominan las capas plegadas de calizas, con prominentes ejes estructurales de anticlinales (plegamiento de las capas del terreno en forma convexa) y sinclinales (plegamiento de las capas de un terreno en forma cóncava), los suelos presentes son someros del tipo litosol (INEGI, 2000a; Contreras, 2007). La vegetación presente corresponde a un bosque mixto de pino-encino. Esta área fue impactada por el fuego en el año de 1998, cuyo grado de afectación correspondió a daños parciales (Treviño *et al.*, 2000).

3.4.2. Selección del área de estudio

Para la selección del área de estudio fueron consideradas zonas del sureste del estado de Nuevo León impactadas por los incendios registrados en el año de 1998 y que a la fecha no hubieran sido impactadas nuevamente. Se seleccionó un área de bosque mixto de pino-encino que se encuentra situada dentro de los límites del ejido La Siberia, en el municipio de General Zaragoza, además fue considerada un área aledaña no impactada por el fuego con las mismas características.

3.4.3. Establecimiento de sitios de muestreo

Para situar los sitios de muestreo fueron tomadas en cuenta la topografía y las condiciones del terreno. Considerando la topografía, los sitios se establecieron en zonas que presentaran las mismas características de exposición de ladera, porcentaje de pendiente, tipo y profundidad del suelo. Tomando en cuenta las condiciones del terreno fueron consideradas dos áreas correspondientes a un bosque mixto de pino-encino, una impactada por fuego y otra no impactada aledaña (testigo).

3.4.4. Forma y tamaño de los sitios de muestreo

Bajo cada condición (incendiada y no incendiada) se establecieron cinco conglomerados tomando de referencia el esquema empleado en el Inventario Nacional Forestal y de Suelos (CONAFOR, 2012), cada conglomerado integrado por cuatro subsitios de forma circular con un área de 400 m² (Figura 9).

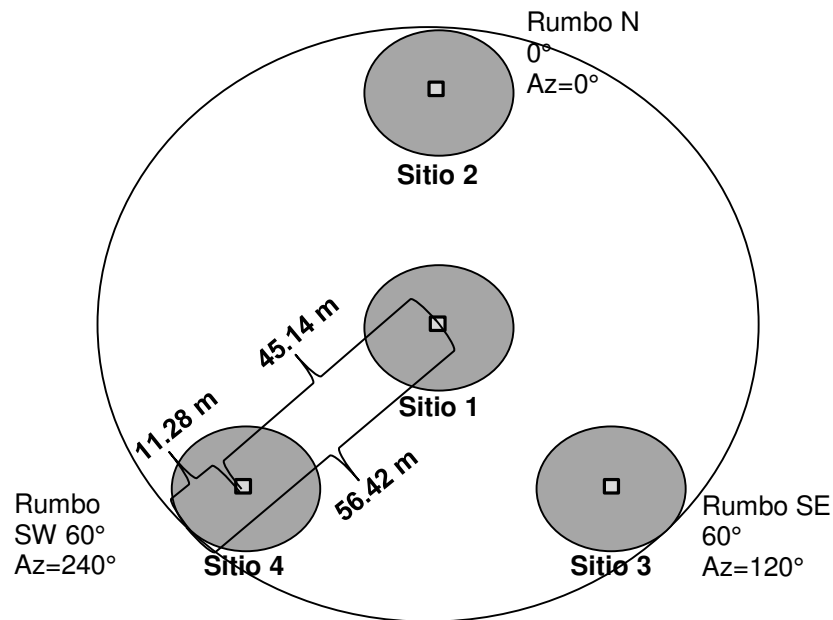


Figura 9. Forma y tamaño de las unidades de muestreo establecidas.

3.4.5. Distribución de los sitios de muestreo

Se empleó un muestreo estratificado considerando únicamente las áreas provistas de vegetación arbórea, los sitios de muestreo fueron distribuidos buscando garantizar que se mantuvieran las características homogéneas del terreno, considerando la exposición de la ladera, el porcentaje de pendiente, tipo de vegetación (bosque de pino-encino), además del tipo y profundidad del suelo. Para poder realizar comparaciones sobre la recuperación del suelo se seleccionó un área aledaña que presentara las mismas características, sin

haber sido impactada por el fuego. Para realizar la distribución y establecimiento de los sitios de muestreo se utilizó la cartografía en formato vectorial proporcionada por el Instituto Nacional de Geografía y Estadística (INEGI) referente a los tipos de suelo, topografía y tipo de vegetación, y se consideró el área impactada por el fuego. La distribución de los sitios de muestreo se realizó empleando el sistema de información geográfica Qgis 2.8.2-Wien (Figura 10).

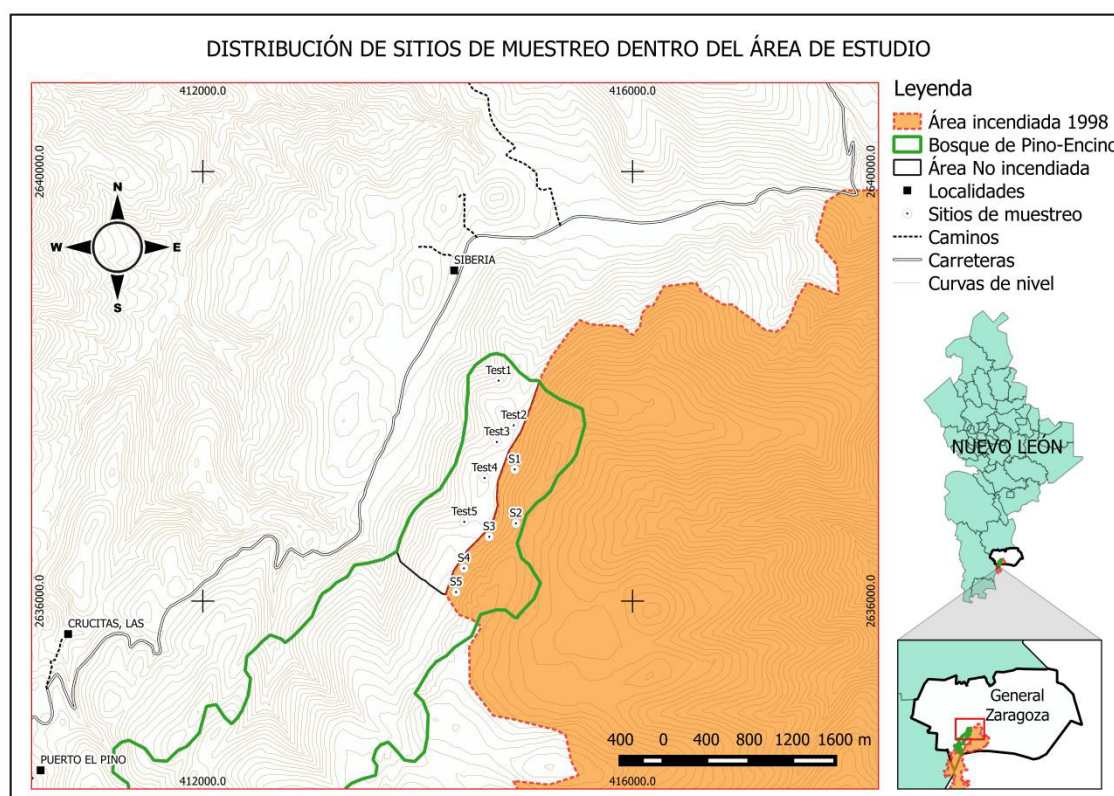


Figura 10. Distribución de sitios de muestreo dentro del área de estudio.

3.4.6. Determinación del número de sitios de muestreo

Para determinar el número adecuado de sitios de muestreo se tomaron en cuenta algunas investigaciones realizadas referentes al estudio de la recuperación de las propiedades físicas y químicas del suelo, además de lo establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 (Capulín

et al., 2010; SEMARNAT, 2002). Para efectos de esta investigación se consideró adecuado establecer un total de 10 conglomerados, de los cuales cinco fueron situados dentro de área incendiada y cinco fuera, dentro de cada uno de los cuatro subsitios de 400 m² que conforma a cada conglomerado se colectó una muestra de suelo para formar una muestra compuesta.

3.4.7. Colecta de muestras de suelo

Para realizar la colecta de muestras se empleó el siguiente material y equipo:

Pala recta: Esta se empleó para excavar y extraer la muestra de suelo.

Bolsas de plástico transparentes con capacidad para dos kilogramos: Sirvieron para depositar y trasladar el suelo evitando su contaminación.

Marcadores de tinta indeleble: Se utilizaron para el etiquetado de las muestras.

Libreta de notas y lápiz: Fueron empleados para realizar las anotaciones correspondientes en campo.

Plano de la zona de muestreo: Sirvió para ubicar el área de estudio y los sitios de muestreo.

GPS: Fue empleado para georreferenciar los sitios de muestreo, así como para determinar la altitud del terreno.

Con el apoyo de la pala recta en el centro de cada subsitios de 400 m² se tomó una porción de suelo de 250 g para formar una muestra compuesta de 1000 g por conglomerado, las cuales fueron depositadas en las bolsas de plástico identificando adecuadamente cada una de ellas. En total se obtuvieron diez muestras compuestas, cinco bajo condiciones de incendio y cinco fuera de área incendiada, estas se retiraron de los primeros 30 cm de profundidad e incluían las cenizas generadas por el incendio. Las muestras fueron preparadas para realizar los análisis físicos y químicos correspondientes.

3.4.8. Análisis físicos y químicos de suelo

Para realizar los análisis físicos y químicos fueron empleadas las metodologías establecidas en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 (SEMARNAT, 2002). En el caso del análisis de contenido de fósforo, debido a que no se contaba con el material establecido en la norma se optó por emplear la metodología del papel filtro impregnado con hidróxido de hierro (Chardon *et al.*, 1996). Los análisis realizados fueron los siguientes:

Textura. La textura es un componente del suelo que está definido principalmente por la proporción relativa de grupos dimensionales de partículas y proporciona una idea general de las propiedades físicas que presenta el suelo. Su determinación es rápida y aproximada. Esta se determinó bajo el procedimiento de Bouyoucos a través del método definido por la Norma Oficial Mexicana como AS-09. El método consiste en eliminar primeramente la agregación debida a la materia orgánica y la fluctuación debida a los cationes de calcio y magnesio. Posteriormente se da lectura a las partículas presentes, siendo de 40 segundos para la separación de partículas mayores de 0.05 mm (arena) y de 2 horas para partículas de diámetros menores de 0.002 mm (limo y arcilla). Estos límites han sido establecidos por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) y se han usado para construir el triángulo de texturas el cual puede ser consultado para determinar la clase textural a la que pertenece un suelo.

Potencial de hidrógeno (pH). El pH es una de las mediciones más importantes dentro de los análisis químicos del suelo, ya que este controla sus reacciones químicas y biológicas, su determinación se encuentra influenciada por varios factores tales como el tipo y la cantidad de constituyentes orgánicos e inorgánicos que dan origen a la acidez del suelo, el contenido de sales en la solución, la relación suelo: solución, la presión parcial de dióxido de carbono y el efecto de la suspensión asociado con el potencial de unión, entre otras. Para

la medición de este componente químico del suelo se empleó el método electrométrico definido por la Norma como AS-02, el cual se basa en la determinación de la actividad del ion hidrógeno (H) mediante el uso de un electrodo cuya membrana es sensitiva al H. La medición es realizada en la suspensión sobrenadante de una mezcla de relación suelo: agua 1:2. Para la clasificación del suelo en cuanto a su valor de pH se utiliza la clasificación establecida en la Norma Oficial Mexicana.

Conductividad eléctrica (CE). La CE es una medida de la capacidad de un material para transportar la corriente eléctrica. Una solución líquida que contiene iones presenta esta característica. La conductividad electrolítica depende de la concentración total de iones presentes en agua, de la movilidad de cada uno de los iones disueltos, su valencia y la temperatura a la que se realiza la medición. El principio por el cual los instrumentos miden la conductividad es sencillo, consiste en dos placas de conductividad o electrodos que son sumergidos en la muestra, se aplica un potencial o voltaje a través de las placas y se mide la corriente que fluye entre las placas, esta se calcula multiplicando la conductancia medida por la constante de celda, los valores se reportan en decisiemens por metro (dS m^{-1}). Para la interpretación de la CE se utilizan los rangos establecidos en la Norma Oficial Mexicana.

Materia orgánica (MO). El procedimiento mediante el cual se determina la MO del suelo se realiza a través del método AS-07, de Walkley y Black establecido en la Norma Oficial Mexicana. El método se basa en la oxidación del carbón orgánico del suelo a través de una disolución de dicromato de potasio y el color de reacción producido al realizar la mezcla con ácido sulfúrico concentrado. Después de un determinado periodo de tiempo de espera la muestra es diluida, se agrega ácido fosfórico para evitar interferencias de Fe^{3+} y el dicromato de potasio residual es valorado con sulfato ferroso. De esta manera se detecta entre un 70 y 84 % del carbón orgánico total por lo que se requiere aplicar un factor de corrección, el cual puede variar entre un suelo y otro. Para el caso de

México es recomendable utilizar el factor 1.298 (1/0.77). Los valores de referencia para clasificar la concentración de la MO en los suelos minerales y volcánicos se establecen en la Norma Oficial Mexicana, los cuales fueron consultados para la clasificación de los suelos analizados.

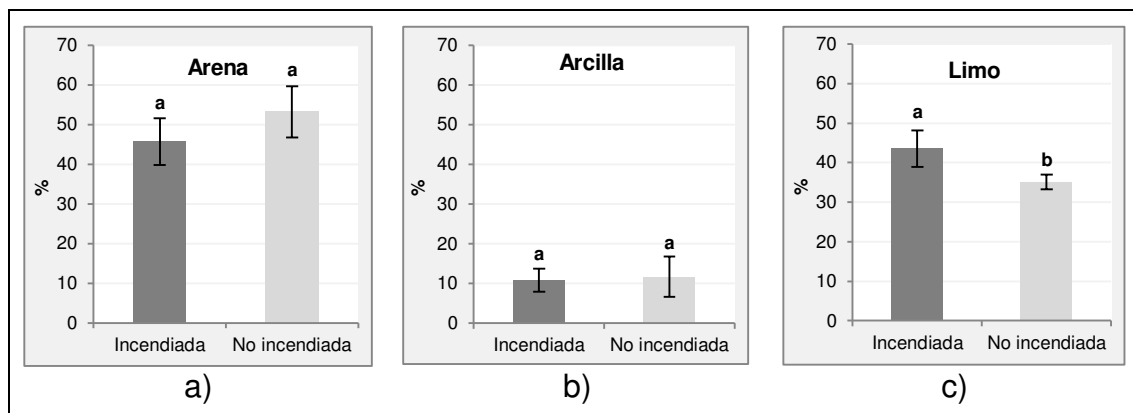
Fósforo (P). El fósforo es uno de los diecinueve elementos considerados como esenciales para la vida de las plantas. Constituye un componente primario de los sistemas responsables de la captación, almacenamiento y transferencia de energía, y es componente básico en las estructuras de macromoléculas de interés crucial, tales como ácidos nucleicos y fosfolípidos, por lo que se puede decir que su papel está generalizado en todos los procesos fisiológicos. En el sistema suelo-planta, el 90 % del fósforo está en el suelo y menos del 10 % se encuentra repartido fuera del suelo. Sin embargo, sólo una pequeña parte de ese 90 % es utilizable por los vegetales (Fernández, 2007). Existen diversas metodologías para determinar el contenido de fósforo en el suelo, dentro de las cuales se encuentran las metodologías establecidas en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000, para efectos de esta investigación debido a que no se contaba con los materiales suficientes para llevar a cabo las metodologías propuestas en la Norma, se optó por realizar el análisis empleando el método de papel filtro impregnado con óxido de hierro también conocido como prueba P_i propuesto por Chardon *et al.* (1996), el método se basa en utilizar tiras de papel filtro las cuales han sido previamente impregnadas con precipitados de hidróxidos de hierro amorfos (FeO), el suelo es agitado en una solución de cloruro de calcio ($CaCl_2$) lo cual ocasiona la solubilización del fósforo, al agregar una tira impregnada con FeO en la solución, el fósforo disuelto es fijado, la tira es lavada con agua destilada y posteriormente sumergida en ácido sulfúrico (H_2SO_4), a la solución generada se le agrega una solución de desarrollo de color y finalmente se determina el contenido de fósforo a partir del porcentaje de transmitancia mediante el uso del espectrofotómetro a una longitud de onda de 880 nm.

3.4.9. Análisis estadístico de las variables

Los resultados obtenidos para cada una de las variables analizadas en laboratorios fueron sometidos a pruebas estadísticas preliminares de normalidad e igualdad de varianzas, esto con la finalidad de determinar el tipo de análisis estadístico más adecuado para procesar los datos, se determinó que los datos de cada una de las variables si presentaban normalidad e igualdad de varianzas, se optó por someterlos a un análisis estadístico paramétrico de comparación de medias, empleando la prueba *t* de *Student* (Hoel, 1984), para lo cual se utilizó el programa R Studio ®. En el caso de la variable fósforo (P), debido a que los datos no presentaron una distribución normal, estos fueron transformados mediante el logaritmo natural (ln).

3.5. Resultados y discusión

La proporción de partículas de arena en el área incendiada (45.62 ± 5.92 %) presentó un ligero decremento en comparación con la no incendiada (53.20 ± 6.46 %), sin embargo, las diferencias estadísticas no fueron significativas ($p > 0.05$), de igual manera la proporción de partículas de arcillas en el área incendiada (10.80 ± 2.91 %) presentó un ligero decremento en comparación con la no incendiada (11.71 ± 5.03 %), sin embargo, la prueba de comparación de medias no indico diferencias estadísticas ($p > 0.05$), esto significa que las proporciones de arena y arcilla son iguales para ambas condiciones. Por otra parte, la fracción limosa presentó un incremento dentro del área incendiada (43.60 ± 4.60 %) en relación a la no incendiada (35.09 ± 1.84 %) resultando ser estadísticamente diferentes ($p < 0.05$), (Figura 11).



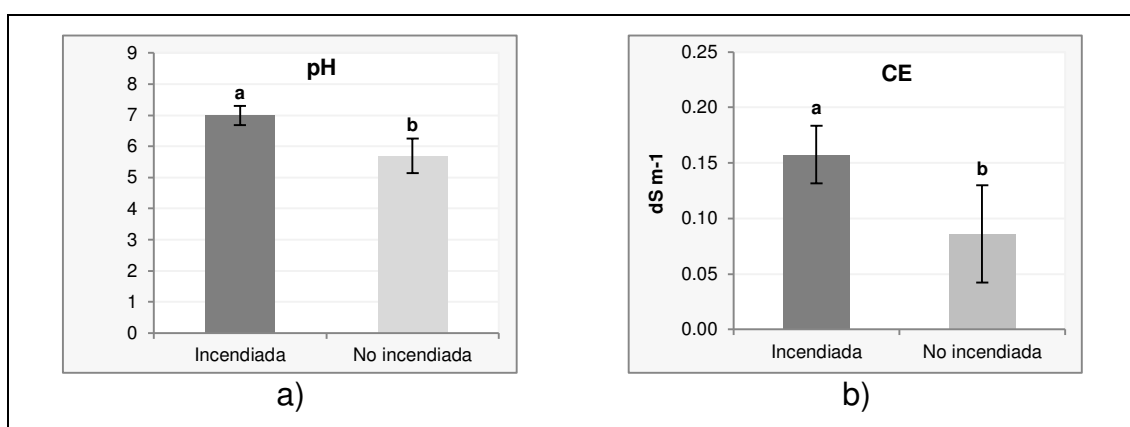
Las letras diferentes en los gráficos indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

Figura 11. Comparación de medias para las variables: a) Arena; b) Arcilla c) Limo.

De acuerdo con algunos autores, los resultados obtenidos se pueden atribuir a que el calor producido por el incendio pudo haber provocado la fusión de partículas de tamaño arcilla, lo que incrementó porcentualmente la proporción de limos, también se pudo consumir parte de la materia orgánica lo que alteró la estabilidad de los agregados, además de que la fragmentación de rocas por efecto de la meteorización debido al cambio brusco de temperatura pudo facilitar la incorporación de sus partículas en este caso la incorporación de limos (Mataix-Solera *et al.*, 2002; Mataix-Solera y Guerrero, 2007; Ulery y Graham, 1993; Dyrness y Youngberg, 1957; Nisita y Haug, 1972).

La modificación en la proporción de partículas principalmente el aumento de limos, generó variaciones en la textural del suelo, ocasionando que la clase textural que se presentaba originalmente pasara de franco-arenosa a franca. A este respecto, aunque las condiciones actuales de textura aún son diferentes a las que se tenían bajo condiciones sin incidencia de fuego, esto no representa una condición desfavorable, debido a que los suelos de textura franca son más favorables para el crecimiento de las especies forestales que cualquier otra clase textural (De las Salas, 1987).

Los valores de pH y CE presentaron un incremento significativo ($p < 0.05$), (Figura 12). De acuerdo con la clasificación establecida en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000, el pH del área incendiada (7 ± 0.31) se clasificó como neutro, mientras que el valor obtenido en el área no incendiada (5.69 ± 0.56) fue clasificado como moderadamente ácido. Mientras que los valores de CE para el área incendiada ($0.16 \pm 0.03 \text{ dS m}^{-1}$) y no incendiada ($0.09 \pm 0.04 \text{ dS m}^{-1}$) corresponden a efectos despreciables de salinidad (SEMARNAT, 2002).



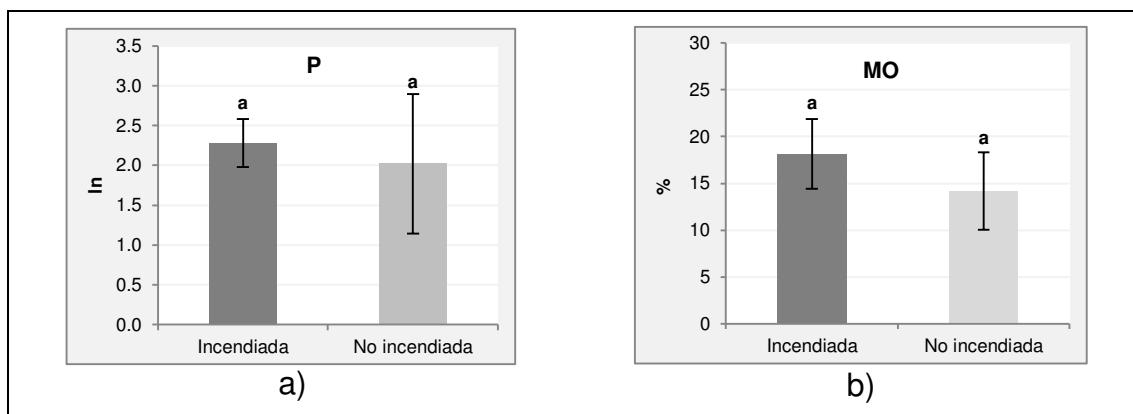
Las letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

Figura 12. Comparación de medias para las variables: a) Potencial de hidrógeno (pH) y b) Conductividad eléctrica (CE).

Estos incrementos de pH y CE se pueden atribuir a la liberación de cationes básicos procedentes de la combustión de la materia orgánica y que aún se encuentran presentes en el suelo (Mataix-Solera y Guerrero, 2007; Certini *et al.*, 2011; Granged *et al.*, 2011). Los valores de pH son semejantes a los reportados para este tipo de ecosistemas bajo condiciones naturales (Domínguez, 2009; Fernández-Pérez *et al.*, 2013). Aunque el valor de pH presente actualmente en el suelo es superior al original, este no representa problemas debido a que los valores de pH que tienden a ser neutros presentan menos probabilidades de ofrecer problemas en el suelo que los que tienen valores más altos o más bajos (Chapman y Pratt, 1973). Referente a la CE, valores parecidos han sido reportados por López-Becerra *et al.*, (2015) y Capulín *et al.*, (2010) para

ecosistemas similares bajo condiciones naturales e impactados por el fuego, quienes también consideran como no perjudiciales para la vegetación los rangos de salinidad obtenidos. Se asume que el suelo a pesar de que ha sobrepasado los valores de pH y CE del área de referencia, estos no representan una limitante en su recuperación.

En relación a los contenidos de P y MO, aunque ambas variables presentaron un ligero incremento, estadísticamente los valores son iguales respecto a la condición testigo ($p > 0.05$), (Figura 13). La variable fósforo, debido a que los datos obtenidos no presentaban una distribución normal fueron transformados mediante el logaritmo natural, de tal manera que los valores promedio son de 10.16 mg kg^{-1} ($\ln = 2.28 \pm 0.30$) para el área incendiada y de 10.98 mg kg^{-1} ($\ln = 2.02 \pm 0.88$) para la no incendiada.



Las letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0.05$).

Figura 13. Comparación de medias para las variables: a) Fósforo (P) y b) Materia orgánica (MO).

Considerando las clasificaciones establecidas en la Norma, las concentraciones de P presentes en ambas condiciones corresponden a valores bajos, mientras que los contenidos de MO tanto del área incendiada ($18.14 \pm 3.74 \%$) como la no incendiada ($14.17 \pm 4.14 \%$) se clasifican como muy altos (SEMARNAT, 2002).

Estudios demuestran que el contenido de P en general puede verse incrementado en cantidades equivalentes a la cantidad de cenizas procedentes de la combustión de la vegetación (Raison, 1979; Mataix-Solera *et al.*, 2009). Para esta investigación, el contenido de fósforo se ve ligeramente incrementado en el área incendiada sin embargo el análisis estadístico indica que la concentración de fósforo se considera igual para ambas condiciones. En el caso de la materia orgánica los resultados obtenidos se atribuyen al aporte de material orgánico parcialmente quemado y la caída de hojas tras el fuego, además de que después de un largo periodo de tiempo el suelo es cubierto por la vegetación de tal manera que los contenidos de materia orgánica tienden a recuperarse alcanzando los valores que se tenían originalmente (Gimeno *et al.*, 2000; De las Heras *et al.*, 1991). Al respecto, tanto los contenidos de P y MO superan ligeramente los reportados para ecosistemas similares bajo condiciones naturales e impactados por el fuego y analizados a profundidades semejantes a las del presente estudio (Fernández-Pérez *et al.*, 2013; Cantú *et al.*, 2013; Capulín *et al.*, 2010), esto se puede atribuir a que el valor de pH que actualmente presenta el suelo (pH neutro) también ha favorecido la disponibilidad de fosforo, además de propiciar condiciones adecuadas para la biodegradación del material orgánico denominado “black-carbón” después de haber sido finamente dividido (Fernández, 2007; De la Rosa *et al.*, 2012).

3.6. Conclusión

De las propiedades físicas y químicas que presentaron diferencias estadísticas ($p < 0.05$) se encuentran la textura, al verse incrementadas las proporciones de limo, sin embargo los resultados en esta propiedad no fueron desfavorables debido a que los cambio propiciaron la generación de una textura franca, la cual resulta favorable para el desarrollo de la mayoría de los bosques. Los valores de pH y CE también presentaron cambios viéndose incrementados sus valores, los cuales de acuerdo con las clasificaciones establecidas en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2002 no representan problemas en el suelo.

El resto de las variables (MO y P) no presentaron diferencias estadísticas significativas ($p > 0.05$) con lo cual se asume que han alcanzado su recuperación.

Los resultados estadísticos indican que el estado actual del suelo aún se encuentra en un proceso de recuperación, debido a que algunas de sus propiedades físicas y químicas aún no alcanzan las condiciones que se presentaban de manera original, sin embargo, considerando que las condiciones actuales no representan problemas en el suelo, además de que los valores obtenidos son semejantes a los que caracterizan a este tipo de ecosistemas, se concluye que el estado actual de las propiedades físico-químicas analizadas se encuentran recuperadas.

CAPÍTULO IV

4.1. Conclusiones generales

Los resultados de esta investigación han demostrado que el fuego puede ejercer cambios en dos de los componentes más importantes dentro de un ecosistema forestal, siendo estos la vegetación y el suelo.

Específicamente para la vegetación arbórea de un bosque de pino-encino situado en exposición barlovento, después de 17 años de haber sido impactado por el fuego, considerando la estructura florística, esta ha alcanzado la riqueza y diversidad de especies arbóreas que se presentaban originalmente, sin embargo considerando la estructura horizontal, algunas variables tales como las áreas basal y de copa aún difieren de los valores que se tenían antes del incendio. Para el caso del suelo, aunque este no ha alcanzado los valores exactos correspondientes a algunas de sus propiedades físico-químicas tales como la textura (proporción de limos), pH y CE, estos además de no representar problemas en el suelo, se encuentran dentro de los rangos que caracterizan al ecosistema estudiado. Con lo cual, se concluye de manera general que después de 17 años de haber ocurrido el incendio, la vegetación arbórea presenta una recuperación parcial, mientras que el suelo presenta una recuperación total de las propiedades físico-químicas analizadas.

4.2. Perspectivas

De acuerdo con los resultados obtenidos y las conclusiones establecidas del presente trabajo de investigación, se espera que en un futuro a corto plazo la vegetación pueda alcanzar la recuperación total de su estructura horizontal, esto debido a las condiciones favorables que actualmente presentan las propiedades físico-químicas del suelo, las cuales contribuirán a que se presente un rápido y adecuado desarrollo de los individuos arbóreos jóvenes que actualmente se presentan, lo que influirá en que se vean incrementados los valores de área basal y de copa pudiendo regresar a los rangos que caracterizan al ecosistema analizado, esto considerando que el área estudiada no vuelva a presentar un evento de incendio en los años próximos.

En relación al suelo, aunque algunas de sus propiedades físico-químicas aún no presentan exactamente los valores originales, estos actualmente no representan problemas, además de que estos son característicos del ecosistema estudiado. Se considera que a corto plazo la totalidad de sus propiedades pueda volver a sus valores originales debido a que al mejorar las condiciones vegetales mejoraran los procesos biológicos los cuales influirán de manera positiva en el suelo.

LITERATURA CITADA

- Alanís-Rodríguez, E., Jiménez-Pérez, J., Espinoza-Vizcarra, D., Jurado-Ybarra, E., Aguirre-Calderón, O. A., & González-Tagle, M. A. 2008. Evaluación del estrato arbóreo en un área restaurada post-incendio en el Parque Ecológico Chipinque, México. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, 14(2), 113-118.
- Alanís-Rodríguez, E., Jiménez-Pérez, J., Pando-Moreno, M., Aguirre-Calderón, O. A., Treviño-Garza, E. J. & Canizales-Velázquez, P. A. 2010. Análisis de la diversidad arbórea en áreas restauradas post-incendio en el Parque Ecológico Chipinque, México. *Acta biológica colombiana*, 15(2), 309-324.
- Alanís-Rodríguez, E., Jiménez-Pérez, J., Valdecantos-Dema, A., Pando-Moreno, M., Aguirre-Calderón, O., & Treviño-Garza, E. J. 2011. Caracterización de regeneración leñosa post-incendio de un ecosistema templado del Parque Ecológico Chipinque, México. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, 17(1), 31-39.
- Alanís-Rodríguez, E., Jiménez-Pérez, J., Valdecantos-Dema, A., González-Tagle, M. A., Aguirre-Calderón, Ó. A., & Treviño-Garza, E. J. 2012. Composición y diversidad de la regeneración natural en comunidades de *Pinus-Quercus* sometidas a una alta recurrencia de incendios en el noreste de México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 83(4), 1208-1214.

- Almendros, G., Polo, A., Ibáñez, J. J. & Lobo, M. C. 1984. Contribución al estudio de la influencia de los incendios forestales en las características de la materia orgánica del suelo. I.- Transformaciones del humus en un bosque de Pinus pinea del centro de España. Rev. Ecol. Biol. Sol., 21, 7-20.
- Asbjornsen, H. E. I. D. I. & Hernández, C. G. 2004. Impactos de los incendios de 1998 en el bosque mesófilo de montaña de Los Chimalapas, Oaxaca. Incendios Forestales en México-Métodos de Evaluación (RL Villers y J. López, Eds.). Cntr. Cien. Atmós. UNAM, DF, 125-145.
- Asociación Mundial sobre el Fuego. 2004. El Fuego, los Ecosistemas y la Gente. Una evaluación preliminar del fuego como un tema global de conservación. The nature Conservancy. Saving the last great on earth. Iniciativa Global para el Manejo del Fuego Octubre de 2004. 9 p.
- Bannister, J. R., Le Quesne, C. E., & Lara, A. 2008. Estructura y dinámica de bosques de Pilgerodendron uviferum afectados por incendios en la Cordillera de la Costa de la Isla Grande de Chiloé. Bosque (Valdivia), 29(1), 33-43.
- Bétrémieux, R., Le Borgne, E. & Monnier, G. 1960. The evolution of certain soil properties under the effect of heating. Compte Rendu Hebdomadaire des Seances de l'Academie des Sciences, 251, 2753-2755.
- Bodí, M. B., Cerdà, A., Mataix-Solera, J. & Doerr, S. H. 2012. A review of fire effects on vegetation and soil in the mediterranean basin. Boletín de la asociación de geógrafos españoles, 2012(58), 439-441.

- Brown, A. A., Davis, K. P. 1973. Forest fire: Control and use. New York: McGraw-Hill Book Company. 686 p.
- Camargo, G. J. C., Dossman, M. A., Rodríguez, J. A., Arias, L. M. y Galvis, Q. J. H. 2012. Cambios en las propiedades del suelo, posteriores a un incendio en el Parque Nacional Natural de Los Nevados, Colombia. *Acta Agronómica*, Sin mes, 151-165.
- Cantú, S. I., Sánchez, C. L. R. M., González, R. H., Kubota, T., Gómez, M. M. V., & Domínguez, G. T. G. 2013. Retorno potencial de nutrimentos por componentes secundarios de la hojarasca en comunidades vegetales de Nuevo León. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 4(17), 138-155.
- Capulín, G. J., Mohedano, C. L. y Razo, Z. R. 2010. Cambios en el suelo y vegetación de un bosque de pino afectado por incendio. *Terra Latinoamericana*, Enero-Marzo, 79-87.
- Carballas, T. 2003. Los incendios forestales. En: Reflexiones sobre el medio ambiente en Galicia (J.J. Casares Long, coord.). Consellería de Medio Ambiente, Xunta de Galicia, 363-415.
- Carballas, T., Martín, A. y Díaz-Reviña, M. 2009. Efecto de los incendios forestales sobre los suelos de Galicia. En: Efecto de los incendios forestales sobre los suelos en España (Artemi Cerda y Jorge Mataix-Solera, eds.). Cátedra divulgación de la ciencia. Universitat de València, Ch. 3.6, 269-301.
- Certini, G. 2005. Effects of fire on properties of forest soils: a review. *Oecologia*, 143(1), 1-10.

- Certini, G., Nocentini, C., Knicker, H., Arfaioli, P. & Rumpel, C. 2011. Wildfire effects on soil organic matter quantity and quality in two fire-prone Mediterranean pine forests. *Geoderma*, 167, 148-155.
- Chapman, H. D. y F. Pratt P. 1973. Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas. Editorial Trillas. México, D. F. México. 195 p.
- Chardon, W. J., Menon, R. G. and Chien, S. H. 1996. Iron oxide-impregnated filter paper (Pi test): a review of its development and methodological research. *Nutr. Cycl. In Agroecosyst*, 46, 41-51.
- Chen, W., Moriya, K., Sakai, T., Koyoma, L. & Cao, C. 2014. Monitoring of post-fire forest recovery under different restoration modes based on time series Landsat data. *European Journal of Remote Sensing*, 47, 153-168.
- CONABIO. s. f. Los incendios en México un análisis de su amenaza a la biodiversidad. Recuperado el 17 de agosto de 2015, de http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/puntos_calor/doctos/incendios.html.
- CONAFOR. 2012. Inventario nacional forestal y de suelos. Manual y procedimientos para el muestreo de campo. Re-muestreo 2012. 132 p.
- Contreras, D. C. 2007. Geografía de nuevo león. Fondo editorial de Nuevo León. Monterrey N. L. 229 p.
- Coop, J. D., Massatti, R. T. & Schoettle, A. W. 2010. Subalpine vegetation pattern three decades after stand-replacing fire: effects of landscape context and topography on plant community composition, tree regeneration, and diversity. *J. Veg. Sci.*, 21, 472-487.

- Corvalán, P. & Hernández, J. 2010. Apuntes de Dendrometría. Mediciones Lineales Universidad de Chile.
- Daubenmire, R. 1979. Ecología Vegetal. Tercera Edición. Editorial Limusa. México. 496 p.
- DeBano, L. F. 2000. Water repellency in soils: a historical overview. *Journal of Hydrology*, 231, 4-32.
- De Celis, R., Jordán, A. & Zavala, L. M. s. f. Efectos del fuego en las propiedades biológicas, físicas y químicas del suelo. Grandes incêndios florestais, erosão, degradação e medidas de recuperação dos solos, 145 p.
- De la Rosa, J. M., Faria, S. R., Varela, M. E., Knicker, H., González-Vila, F. J., González-Pérez, J. A. & Keizer, J. 2012. Characterization of wildfire effects on soil organic matter using analytical pyrolysis. *Geoderma*, 191, 24-30.
- De las Heras, J., Martínez, J. J. y Herranz, J. M. 1991. Impacto ecológico de los incendios forestales. *Revista de Estudios Albacetenses*, 29, 105-117.
- De las Salas, G. 1987. Suelos y ecosistemas forestales con énfasis en América tropical. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, San José, Costa Rica. 447 p.
- De Melo, A. C. G. & Durigan, G. 2010. Los incendios en el bosque estacional semicaducifolio: repercusiones y regeneración en las orillas del bosque. *Unasylva: revista internacional de silvicultura e industrias forestales*, (234), 37-42.

- Diéguez, U., Barrio, M., Castedo, F., Ruiz, A.D., Alvarez, M.F., Alvarez, J.G. y Rojo, A. 2003. Dendrometría. Mundi-prensa S.A. (Ed.), Barcelona, 327 p.
- Domínguez, G. T. G. 2009. Deposición de hojarasca y retorno potencial de nutrimentos en diferentes comunidades de vegetación. Tesis (Maestría en Ciencias Forestales). Linares, Nuevo León, México. UANL, Facultad de Ciencias Forestales. 153 p.
- Dyrness, C. T. and Youngberg, C. T. 1957. The effects of logging and slash burning on soil structure. Soil Science Society of America Proceedings, 21, 444-447.
- Ekinci, H. 2006. Effect of forest fire on some physical, chemical and biological properties of soil in Canakkale, Turkey. International Journal of Agriculture and Biology, 8(1), 102-106.
- FAO. 2002. Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales 2000 - Informe Principal. Estudio FAO Montes 140, Roma, Italia.
- Fernández, M. T. 2007. Fósforo: amigo o enemigo. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, 41(2), 51-57.
- Fernández-Pérez, L., Ramírez-Marcial, N. & González-Espinosa, M. 2013. Reforestación con *Cupressus lusitanica* y su influencia en la diversidad del bosque de pino-encino en Los Altos de Chiapas, México. Botanical Sciences, 91(2), 207-216. Recuperado en 10 de agosto de 2015, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-42982013000200008&lng=es&tlng=es.

- Fulé, P. Z. & Laughlin D. C. 2007. Wildland fire effects on forest structure over an altitudinal gradient, Grand Canyon National Park, USA. *J. Appl. Ecol.*, 44, 136-146.
- Gimeno, G. E., Andreu, V. and Rubio, J. L. 2000. Changes in organic matter, nitrogen, phosphorus and cations as a result of fire and water erosion in a Mediterranean landscape. *European Journal of Soil Science*, 51(2), 201-210.
- Giovannini, C., Lucchesi, S. & Giachetti, M. 1990. Effects of heating on some chemical parameters related to soil fertility and plant growth. *Soil Science*, 149(6), 344-350.
- Giorgis, M. A., Cingolani, A. M., & Cabido, M. 2013. El efecto del fuego y las características topográficas sobre la vegetación y las propiedades del suelo en la zona de transición entre bosques y pastizales de las sierras de Córdoba, Argentina. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 48(3-4), 493-513.
- González, M. A., Schwendenmann, I., Jiménez, J. and Schulz, R. 2008. Forest structure and woody plant species composition along a fire chronosequence in mixed pineoak forest in the Sierra Madre Oriental, Northeast Mexico. *Forest Ecology and Management*, 256, 161-167.
- González, P. J. A., González, V. R., Arranz, R., José, M. y González, V.F.J. 2011. El fuego y la materia orgánica del suelo. *Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla (CSIC)*, 2(3), 8-14.
- Granados, S., D. y G. López, R. 2000. Sucesión ecológica. Dinámica del ecosistema. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 197 p.

- Granged, A. P. 2011. Efectos a corto y largo plazo del fuego sobre algunas propiedades del suelo. Incendios naturales e incendios experimentales bajo condiciones de campo y laboratorio. Memoria para optar al grado de doctor. Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola, Universidad de Sevilla, Sevilla, España. 181 p.
- Hernández, A., Arbelo, R. C. D., Rodríguez, N., Notario, del P. J. S., del Arco, A. M. J. & Rodríguez, R. A. 2013. Efectos de un incendio forestal (Tenerife, Islas Canarias, verano de 2007) bajo bosques de pinar sobre algunas propiedades del suelo y su relación con la repelencia al agua a corto y medio plazo. Spanish Journal of Soil Science, 3(1), 56-72.
- Hepper, E., Urioste, A., Belmonte, V., & Buschiazzo, D. 2008. Temperaturas de quema y propiedades físicas y químicas de suelos de la región semiárida pampeana central. Cl. Suelo (Argentina), 26(1), 29-34.
- Hoel, P. G. 1984. Estadística elemental. Cuarta impresión. Compañía Editorial Continental, S. A. de C.V. impreso en México. 385 p.
- INEGI. 2000a. Diccionarios de datos Fisiográficos escala 1:1 000 000 (vectorial).
- INEGI. 2000b. Diccionario de datos climáticos escala 1: 250 000 (vectorial).
- INEGI. 2012. Conjunto de datos vectoriales de Uso del Suelo y Vegetación Escala 1:250 000, Serie V (Capa Unión). México.

- Jhariya, M. K., & Raj, A. 2014. Effects of wildfires on flora, fauna and physico-chemical properties of soil-An overview. *Journal of Applied and Natural Science*, 6(2), 887-897.
- Jhariya, M. K. 2014. Effect of forest fire on microbial biomass, storage and sequestration of carbon in a tropical deciduous forest of Chhattisgarh. Ph. D. Thesis, I.G.K.V., Raipur (C.G.), pp. 259.
- Jiménez, J., Aguirre, O. y Kramer, H. 2001. Análisis de la estructura horizontal y vertical en un ecosistema multicohortal de pino-encino en el noreste de México. *Investigaciones Agrarias: Sistemas y Recursos Forestales*, 10(2), 355-366.
- Joshi, N. R., Tewari, A. and Chand, D. B. 2013. Impacts of forest fire and aspects on phytosociology, tree biomass and carbon stock in oak and pine mixed forests of Kumaun central Himalaya, India. *Researcher*, 5(3), 1-8.
- López-Becerra, A., Gutiérrez-Ortiz, R., Santiago-Romero, H., & Franco-Hernández, M. O. 2015. Reservas de carbono en suelos de bosque pino-encino de San Miguel Suchixtepec, Oax. *Quercus*, 56000, 1.
- Luis-Calabuig, E., García-Mares, R. T., Galván, L. C., Relea, L. V., & Porras, E. M. 2001. Fuego y paisaje en áreas de dominio del Roble Rebollo. *Revista Ecosistemas*, 10(1).
- Madrigal, O. J., Lara, C. H. & Guijarro, G. M. 2011. El papel de la regeneración natural en la restauración tras grandes incendios forestales: el caso del pino negral. *Boletín del CIDEU*, 10, 5-22.

- Magurran, A. E. 1988. Ecological diversity and its measurement. Princeton University Press, New Jersey, 179 p.
- Main, M. B., & Tanner, G. W. 2013. Efectos del fuego en la vida silvestre de Florida y su hábitat. University of Florida, 4 p.
- Maldonado, M. Ma. D. L., Rodríguez, T. D. A., Guízar, N. E., Velázquez, M. J., & Náñez, J. S. 2009. Reducción en riqueza de especies arbóreas por incendios en la Reserva Selva El Ocote, Chiapas. Ciencia forestal en México, 34(106), 127-148.
- Margalef, R. 1957. Information Theory in Ecology. Mem. Real Acad. Cien. Art. Barcelona, 23, 373-449.
- Martin, R. E. 1963. A basic approach to fire injury of tree stems. In: Proceedings, 2nd Tall Timbers fire ecology conference. Tallahassee, FL: Tall Timbers Research Station, 151-162.
- Martínez, J., De las Heras, J. y Herranz, J. 1991. Impacto ecológico de los incendios forestales. Centro de Estudios de Castilla-La Mancha, 105-117.
- Marzano, R., Lingua, E., & Garbarino, M. 2012. Post-fire effects and short-term regeneration dynamics following high-severity crown fires in a Mediterranean forest. iForest-Biogeosciences and Forestry, 5(3), 93.
- Mataix-Solera, J. 1999. Alteraciones físicas, químicas y biológicas en suelos afectados por incendios forestales. Contribución a su conservación y regeneración. Tesis Doctoral (ph-D). Facultad de Ciencias. Universidad de Alicante. 330 p.

- Mataix-Solera, J., Gómez, I., Navarro-Pedreño, J., Guerrero, C. y Moral, R. 2002. Soil organic matter and aggregates affected by wildfire in a *Pinus halepensis* forest in Mediterranean environment. *International Journal of Wildland Fire*, 11, 107-114.
- Mataix-Solera, J., y Guerrero, C. 2007. Efectos de los Incendios Forestales en las Propiedades edáficas. Incendios Forestales, Suelos y Erosión Hídrica. Caja Mediterráneo CEMACAM Font Roja-Alcoi, Alicante, 5-40.
- Mataix-Solera, J., Guerrero, C., Arcenegui, V., Bárcenas, G., Zornoza, R., Pérez-Bejarano, A., Bodí, M. B., Mataix-Beneyto, J., Gómez, I., García-Orenes, F., Navarro-Pedreño, J., Jordán, M. M., Cerdà, A., Doerr, S. H., Úbeda, X., Outeiro, L., Pereira, P., Jordán, A. y Zavala, L. M. 2009. Los incendios forestales y el suelo: un resumen de la investigación realizada por el Grupo de Edafología Ambiental de la UMH en colaboración con otros grupos. En: Efecto de los incendios forestales sobre los suelos en España (Artemi Cerda y Jorge Mataix-Solera, eds.). Cátedra divulgación de la ciencia. Universitat de València, Ch. 3.4, 185-218.
- Matteucci, D. S. y Colma, A. 1982. Metodología para el estudio de la vegetación. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos, Washington, D. C. 168 p.
- Mikita-Barbato, R. A., Kelly, J. J., & Tate, R. L. 2015. Wildfire effects on the properties and microbial community structure of organic horizon soils in the New Jersey Pinelands. *Soil Biology and Biochemistry*, 86, 67-76.

- Miller, M. 2000. Fire autecology. In: Brown, J. K., Smith, J. K. (Eds.). Wildland fire in ecosystems. Effects of fire on flora. USDA Forest Service. General Technical Report RMRS-GTR-42. Vol. 2. Rocky Mountain Research Station. Fort Collins, Colorado. 257 p.
- Moreira, A. G. 2000. Effects of fire protection on savanna structure in Central Brazil. *J. Biogeogr*, 27, 1021-1029.
- Moreno, C. E. 2001. Métodos para medir la biodiversidad. M&T–Manuales y Tesis SEA, vol. 1. Zaragoza. 84 p.
- Mostacedo, B. y Fredericksen, T. S. 2000. Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal. Proyecto de Manejo Forestal Sostenible (BOLFOR). Santa Cruz, Bolivia. 87 p.
- Müeller–Dombois, D. y Ellenberg, H. 1974. Aims and methods of vegetation ecology. John Wiley & Sons, Nueva York, EUA. 547 p.
- Myers, R. L. 2006. Incendios y ecosistemas: Un enfoque integral del manejo de fuego en América Latina. En Cuarto Simposio Internacional sobre Manejo Sostenible de los Recursos Forestales y Primer Taller Internacional sobre Manejo del Fuego. Universidad de Pinar del Río. Cuba.
- Neary, D. G., Klopatek, C., C., DeBano, L. F. y Ffolliott, P. F. 1999. Fire effects on belowground sustainability: a review and synthesis. *Forest Ecology and Management*, nº 122, 51-71.
- Nishita, H. and Haug, R. M. 1972. Some physical and chemical characteristics of heated soils. *Soil Science*, 113, 422-430.

- Pausas, J. G. 2010. Fuego y evolución en el Mediterráneo. *Investigación y Ciencia*, 407, 56-63.
- Pérez, G. C. A., López, B. J. & Vela, C. G. 2009. Influencia del relieve en las propiedades de un suelo afectado por incendio en el volcán El Pelado, Centro de México. *Investigaciones geográficas*, (69), 7-20.
- Raison, R. J. 1979. Modifications of the soil environment by vegetation fires, with particular reference to nitrogen transformations: a review. *Plant and Soil*, 51, 73-108.
- Rees, D. C. & Juday, G. P. 2002. Plant species diversity on logged versus burned sites in central Alaska. *Forest Ecol. Manag.* 155, 291-302.
- Reich, R. M., Bonham, C. D., Aguirre-Bravo, C. & Chazaro-Basañeza, M. 2010. Patterns of tree species richness in Jalisco, Mexico: relation to topography, climate and forest structure. *Plant ecology*, 210(1), 67-84.
- Rodrigues, M., Ibarra, P., Echeverría, M., Pérez-Cabello, F., & de la Riva, J. 2014. A method for regional-scale assessment of vegetation recovery time after high-severity wildfires Case study of Spain. *Progress in Physical Geography*, 38(5), 556-575.
- Rodríguez-Trejo, D. A. y Fulé, P. 2003. Fire ecology of Mexican pines and a fire management proposal. *International Journal of Wildland Fire*, 12(1), 23-37.
- Rosero, C. J. y Osorio, G. I. 2013. Efecto de los incendios forestales en las propiedades del suelo. *Estado del arte. Cuaderno Activa*, 5, 59-67.

- Ruokolainen, L. & Salo, K. 2009. The effect of fire intensity on vegetation succession on a sub-xeric heath during ten years after wildfire. In *Annales Botanici Fennici* (pp. 30-42). Finnish Zoological and Botanical Publishing Board.
- Russell-Smith, J., Start, T. & Woinarski, J. 2001. 4. Effects of fire in the landscape. *Savanna burning: understanding and using fire in northern Australia*, 29 p.
- Santiago, P. A. L., Villavicencio G. R., Godínez H. J. D. J., Chávez A. J. M. & Toledo G. S. L. 2012. Tamaño de fragmentos forestales en el bosque de pino-encino, sierra de Quila, Jalisco. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 3(14), 23-38.
- SEMARNAT. 2002. Norma Oficial Mexicana. NOM-021-SEMARNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreos y análisis. *Diario Oficial de la Federación*. 31 de diciembre 2002. 85 p.
- Shannon, C. E. and Weaver W. 1949. The mathematical theory of communication. University of Illinois Press. Urbana, IL, EEUU. 144 p.
- Spiegel, M. R. 1991. Estadística. Segunda edición. McGraw-Hill. Madrid, España. 546 p.
- Stephens, S. L., McIver, J. D., Boerner, R. E., Fettig, C. J., Fontaine, J. B., Hartsough, B. R. & Schwilk, D. W. 2012. The effects of forest fuel-reduction treatments in the United States. *BioScience*, 62(6), 549-560.

- Treviño, G. E. J., Jiménez, P. J., & Aguirre, C. O. A. 2000. Evaluación de las superficies incendiadas en el sur de Nuevo León susceptibles a restauración. Iguazú, Argentina: VIII Simposium Internacional de la Sociedad de Especialistas Latinoamericanos en Percepción Remota.
- Ulery, A. L., Graham, R. C. y Amrhein, C. 1993. Wood-Ash composition and soil pH following intense burning. *Soil Science*, 156, 358-364.
- Uribe, C., Inclán, R., Sánchez, D. M., Clavero, M. A., Fernández, A. M., Morante, R. & Van Miegroet, H. 2013. Effect of wildfires on soil respiration in three typical Mediterranean forest ecosystems in Madrid, Spain. *Plant and soil*, 369(1-2), 403-420.
- Urquiza, R. M. N., Fernández, M. A., Pino, A. A. M. y Herrero, E. G. 2004. El fuego: uso e impacto en la esfera forestal. *Revista electrónica de la Agencia de Medio Ambiente*, 4(7), 8.
- Ursic, S. J. 1961. Lethal temperature of 1-0 loblolly pine seedlings. U.S. Department of Agriculture, Forest Service; Tree Planters Notes.
- Vilà-Cabrera, A., Saura-Mas, S., & Lloret, F. 2008. Effects of fire frequency on species composition in a Mediterranean shrubland. *Ecoscience*, 15(4), 519-528.
- Villarreal, H., Álvarez, M., Córdoba, S., Escobar, F., Fagua, G., Gast, F., Mendoza, H., Ospina, M. y Umaña, A. M. 2006. Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Programa de Inventarios de Biodiversidad. Segunda edición. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander vonHumboldt. Bogotá, Colombia. 236 p.

- Whittaker, R. H. 1972. Evolution and measurement of species diversity. *Taxon*, 21(2/3), 213-251.
- Wright, H. A. and Bailey, A. W. 1982. *Fire ecology United States and southern Canada*. New York: John Wiley & Sons. 501 p.
- Yocom, L. L., Fulé, P. Z., Brown, P. M., Cerano, J., Villanueva-Díaz, J., Falk, D. A., & Cornejo-Oviedo, E. 2010. El Niño-Southern Oscillation effect on a fire regime in northeastern Mexico has changed over time. *Ecology*, 91(6), 1660-1671.